

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004 年 1 月 15 日 (15.01.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/006289 A1

- (51) 国際特許分類: H01J 65/04
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2003/008447
- (22) 国際出願日: 2003 年 7 月 2 日 (02.07.2003)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願2002-192881 2002 年 7 月 2 日 (02.07.2002) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 松下電器産業株式会社 (MATSUSHITA ELECTRIC INDUSTRIAL CO., LTD.) [JP/JP]; 〒571-8501 大阪府 門真市 大字門真 1 0 0 6 番地 Osaka (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 橋本谷 磨志 (HASHIMOTODANI, Kiyoshi) [JP/JP]; 〒569-0846 大

阪府 高槻市 柱本新町 1-B 2 9-1 0 6 Osaka (JP).  
川 剛 (ARAKAWA, Takeshi) [JP/JP]; 〒601-8213 京都府 京都市 南区久世中久世町 4-4-4 0 8 Kyoto (JP). 保知 昌 (HOCHI, Akira) [JP/JP]; 〒631-0002 奈良県 奈良市 東登美ヶ丘 2-1 0-6 Nara (JP). 片瀬 幸一 (KATASE, Kōichi) [JP/JP]; 〒614-8294 京都府 八幡市 欽明台東 3-1-E-6 1 0 Kyoto (JP). 小俣 雄二 (OMATA, Yuuji) [JP/JP]; 〒560-0005 大阪府 豊中市 西緑が丘 2-9-1-4 0 9 Osaka (JP). 萩原 慶久 (HAGIWARA, Yoshihisa) [JP/JP]; 〒651-1513 兵庫県 神戸市 北区鹿の子台北町 6-1 2-1 Hyogo (JP).

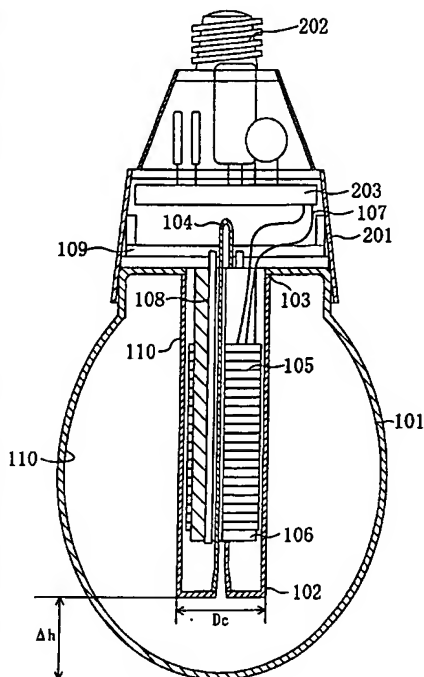
(74) 代理人: 前田 弘, 外 (MAEDA, Hiroshi et al.); 〒550-0004 大阪府 大阪市 西区鞠本町 1 丁目 4 番 8 号 本町中島ビル Osaka (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS,

/ 続葉有 /

(54) Title: BULB TYPE ELECTRODELESS DISCHARGE LAMP AND ELECTRODELESS DISCHARGE LAMP LIGHTING DEVICE

(54) 発明の名称: 電球形無電極放電ランプおよび無電極放電ランプ点灯装置



(57) Abstract: A bulb type electrodeless discharge lamp, comprising a recessed part (102), wherein the maximum diameter of a light emitting tube (101) is 60 to 90 mm and the tube wall load of the light emitting tube (101) is 0.07 to 0.11 W/cm<sup>2</sup>, and a relation between the diameter Dc of the recessed part (102) and an interval Δh between the top of the recessed part (102) and the top part of the light emitting tube (101) meets the requirement of  $\Delta h \leq 1.15 \times Dc + 1.25$  [mm].

/ 続葉有 /

WO 2004/006289 A1



LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI,  
NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,  
SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,  
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW,  
ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ,  
SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM,  
AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許  
(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB,  
GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される  
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語  
のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約:

発光管 101 の最大直径が 60 mm 以上かつ 90 mm 以下で発光管 101 の管  
壁負荷が  $0.07 \text{ W/cm}^2$  以上  $0.11 \text{ W/cm}^2$  以下であり、凹入部 102 を  
備えた電球形無電極放電ランプにおいて、凹入部 102 の直径  $D_c$  と、凹入部 1  
02 頂上と発光管 101 頂部の間隔  $\Delta h$  との関係を、

$$\Delta h \leq 1.15 \times D_c + 1.25 \text{ [mm]}$$

を満たすような構成とする。

## 明 細 書

## 電球形無電極放電ランプおよび無電極放電ランプ点灯装置

## 技術分野

本発明は、電球形無電極放電ランプおよび無電極放電ランプ点灯装置に関する。

## 背景技術

近年、地球環境保護と経済性の視点から、白熱電球に比べて効率が約5倍高く、寿命も約6倍長い有電極の電球形蛍光ランプが、住宅やホテルなどにおいて白熱電球代替用として広く利用されてきている。さらに、最近、従来から存在する有電極の電球形蛍光ランプの他に、無電極の電球形蛍光ランプが普及し始めている。無電極蛍光ランプは、電極が無いことから寿命が有電極蛍光ランプに比べて更に2倍以上長いため、今後ますます普及していくことが期待される。

従来白熱電球にはさまざまな形状のものが創案され、実用化されているが、もっとも広く使用されているのは洋ナシ型の形状を持つものである。これはJIS C 7710-1988において定義されたA型と呼ばれる形状であり、国際的にもIEC 60887-1988によって同様に定義されていて、この規格に従って米国や欧州などにおいても同様の規格が設けられている。白熱電球を点灯させる灯具もこのA型の白熱電球の使用を前提としたものが多い。そのため電球形蛍光ランプも、特にこうしたA型の白熱電球に近似した形状、大きさのものを提供することが実用上求められている。

一般的に用いられる上記A型の白熱電球のサイズは、例えば入力100Wの白熱電球の場合で直径60mm、バルブ頂上から口金先端までの高さ110mm程度の大きさであり、白熱電球を代替するためには、電球形蛍光ランプのサイズは前述のサイズを著しく越えないことが重要である。

白熱電球と異なり、上記蛍光ランプは放電によって励起された水銀が放出する紫外線を、外管バルブ（発光管）に塗布された蛍光体で可視光に変換することで光源として機能する。この水銀が放出する紫外線のなかでも特に波長が253.

7 nmの輝線が、蛍光体での可視光への変換効率も高い。すなわち、蛍光ランプの効率は、253.7 nmの紫外輝線の放射効率によって決定される。蛍光ランプでのこの効率は、ランプ内での水銀の原子の密度、言い換えると蒸気圧で決定され、約6 mTorr (約798 mPa) の時に最高効率となる。これは、水銀液滴の摂氏40℃前後での飽和蒸気圧に相当する。このため、効率の高い蛍光ランプを設計するためには、外管バルブの少なくとも最も温度が低くなる箇所（以下最冷点と呼ぶ）の温度を摂氏40℃近傍になるようにすることが望ましい。最冷点において過剰な水銀蒸気が液滴となるからである。

ところが一般に、白熱電球の代替を目的とした電球形蛍光ランプでは、直管蛍光ランプなどに比べると、ランプに投入される電力に対してランプのサイズが小さい。そのため動作時には発光管の温度が高くなり、摂氏40℃近傍にすることが原理的に困難である。つまり、直管蛍光ランプなどに比べ、電球形蛍光ランプは単位表面積当たりの電力が大きいので、ランプ表面からの放熱が十分に行われず、発光管の温度が高くなるのである。

従来このような課題に対する対策としては、例えば特開平11-31476号公報に開示されたような、アマルガムを使用する方法がある。これは、動作時に温度上昇によって最適値よりも過剰になった水銀蒸気をアマルガムに吸着させることによって、動作時の水銀蒸気圧を最適値付近にコントロールする方法で、水銀蒸気圧制御機能を有するBi-In系やBi-Pb-Sn系等のアマルガムが用いられる。

また、別の対策方法としては、特開2001-325920号公報に開示されたような、発光管の最も温度が低くなる部分に、発光管の外側に向かって隆起部を設けて局所的に放熱を高めることで、その部分の温度を摂氏40℃付近となるようにする方法がある。

しかし、アマルガムを使用する方法では、ランプの温度が低い消灯状態からランプを点灯した場合、アマルガムの温度が上昇して吸着された水銀が再度放出されるまでに時間がかかるため、点灯してからランプが十分な明るさを得るまでの明るさの立ち上がりに数分以上の時間がかかるという課題があった。

また、明るさの立ち上がりを向上させるためにアマルガムを使用せずに水銀液

滴を発光管に封入し、発光管外壁上に隆起部を設ける方法では、最冷点の温度を摂氏40℃付近にコントロールする効果はあるものの、隆起部分のガラスが強度的にどうしても弱くなり割れやすくなる。さらには白熱電球にはそのような隆起部が存在しないため、白熱電球を代替して使用する場合、審美的観点から好ましくない、という課題があった。

本発明はかかる諸点に鑑みてなされたものであり、その主な目的は、従来とは異なるアプローチで最冷点の温度を好適な範囲に制御した電球形無電極放電ランプ及び無電極放電ランプ点灯装置を提供することにある。

#### 発明の開示

本発明による第一の電球形無電極放電ランプは、水銀と希ガスとを含む放電ガスが封入された発光管と、前記発光管の近傍に設けられた誘導コイルと、前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路と、前記点灯回路に電氣的に接続された口金とを備え、前記発光管と前記誘導コイルと前記点灯回路と前記口金とは一体に構成されており、前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、前記発光管のうちの前記点灯回路側には、前記誘導コイルが挿入される凹入部が設けられており、前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有し、横断面が略円形の筒形状であり、且つ、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位は、前記放電ガスの対流を抑制する機能を有しており、前記発光管の最大直径は、60mm以上90mm以下であり、安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.07\text{ W/cm}^2$ 以上 $0.11\text{ W/cm}^2$ 以下であり、そして、前記発光管の前記最大直径(D)に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ(h)の比( $h/D$ )は、1.0以上1.3以下であり、前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を $\Delta h$ とし、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位の直径を $D_c$ としたときに、 $\Delta h \leq 1.15 \times D_c + 1.25$  [mm] の関係を満たす。

ある実施形態において、前記直径 $D_c$ と、前記間隔 $\Delta h$ とが、 $\Delta h \geq 1.16 \times D_c - 17.4$  [mm] の関係を満たす。

前記発光管の前記最大直径は65mm以上80mm以下であることが好ましい。  
また、前記発光管の最冷点となる前記頂部又はその近傍に隆起部を設けないことが好ましい。

ある実施形態において、前記誘導コイルは、コアと、当該コアに巻き付けられた巻線とから構成されており、前記コアにおける前記巻線が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部位は、前記発光管の前記最大直径が存在する平面よりも、前記点灯回路側の方へ8mm以上20mm以下の距離だけ離れた範囲内に位置している。

本発明による第二の電球形無電極放電ランプは、水銀と希ガスとを含む放電ガスが封入された発光管と、前記発光管の近傍に設けられた誘導コイルと、前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路と、前記点灯回路に電氣的に接続された口金とを備え、前記発光管と前記誘導コイルと前記点灯回路と前記口金とは一体に構成されており、前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、前記発光管のうちの前記点灯回路側には、前記誘導コイルが挿入される凹入部が設けられており、前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有し、横断面が略円形の筒形状であり、且つ、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位は、前記放電ガスの対流を抑制する機能を有しており、前記発光管の最大直径は、55mm以上75mm以下であり、安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.05\text{ W/cm}^2$ 以上 $0.07\text{ W/cm}^2$ 未満であり、そして、前記発光管の前記最大直径(D)に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ(h)の比( $h/D$ )は、1.0以上1.3以下であり、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を $\Delta h$ とし、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位の直径を $D_c$ としたときに、 $\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 22.4$  [mm] の関係を満たす。

ある実施形態において、前記直径 $D_c$ と前記間隔 $\Delta h$ とが、 $\Delta h \geq 1.16 \times D_c - 17.4$  [mm] の関係を満たす。

前記発光管の前記最大直径は60mm以上70mm以下であることが好ましい。

ある実施形態において、前記誘導コイルは、コアと、当該コアに巻き付けられ

た巻線とから構成されており、前記コアにおける前記巻線が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部位は、前記発光管の前記最大直径が存在する平面上に実質的に存在している。

ある実施形態において、前記水銀は、アマルガムの形態でなく、水銀元素の形態で前記発光管に封入されている。

ある実施形態において、前記希ガスの封入圧力は、 $60\text{ Pa}$ 以上 $300\text{ Pa}$ 以下である。

ある実施形態において、前記発光管の内表面に蛍光体層が形成されている。

本発明による第一の無電極放電ランプ点灯装置は、水銀と希ガスとを含む放電ガスが封入され、凹入部を有する発光管と、前記凹入部に挿入された誘導コイルと、前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路とを備え、前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有し、横断面が略円形の筒形状であり、前記発光管の最大直径は、 $60\text{ mm}$ 以上 $90\text{ mm}$ 以下であり、安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.07\text{ W/cm}^2$ 以上 $0.11\text{ W/cm}^2$ 以下であり、そして、前記発光管の前記最大直径 ( $D$ ) に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ ( $h$ ) の比 ( $h/D$ ) は、 $1.0$ 以上 $1.3$ 以下であり、前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を  $\Delta h$  とし、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位の直径を  $D_c$  としたときに、 $\Delta h \leq 1.15 \times D_c + 1.25$  [mm] の関係を満たす。

本発明による第二の無電極放電ランプ点灯装置は、水銀と希ガスとを含む放電ガスが封入され、凹入部を有する発光管と、前記凹入部に挿入された誘導コイルと、前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路とを備え、前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有し、横断面が略円形の筒形状である略円筒形状を有し、前記発光管の最大直径は、 $55\text{ mm}$ 以上 $75\text{ mm}$ 以下であり、安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.05\text{ W/cm}^2$ 以上 $0.07\text{ W/cm}^2$ 未満であり、そして、前記発光管の前記最大直径 ( $D$ ) に対する、前記凹入部における前記開口部の端

面を基準とした前記発光管の高さ（ $h$ ）の比（ $h/D$ ）は、1.0以上1.3以下であり、前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を $\Delta h$ とし、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位の直径を $D_c$ としたときに、 $\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 22.4$  [mm] の関係を満たす。

ある実施形態において、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位の直径 $D_c$ は、前記凹入部のうち前記誘導コイルの長手方向における略中央部が位置する部位の直径よりも大きい。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の好適な一実施の形態による無電極蛍光ランプの模式図である。

図2は、無電極放電ランプの内部での放電ガスの対流の様子を示す模式図である。

図3は、無電極放電ランプの最冷点温度と全光束との関係をしめすグラフである。

図4は、無電極放電ランプにおける $\Delta h$ と最冷点温度の関係を示すグラフである。

図5は、無電極放電ランプにおける、 $\Delta h$ と凹入部の輪郭影のコントラストとの関係を示すグラフである。

図6は、本発明による $\Delta h$ と $D_c$ の、高ワットタイプの無電極放電ランプの好適な範囲を示すグラフである。

図7は、本発明による $\Delta h$ と $D_c$ の、低ワットタイプの無電極放電ランプの好適な範囲を示すグラフである。

図8は、本発明による好適な実施の形態の一つを表す無電極蛍光ランプの模式図である。

図9は、高ワットタイプの無電極放電ランプにおける励起コイル巻き付け中心位置と発光管最大直径位置との差 $\Delta C$ と光束との関係を示すグラフである。

図10は、低ワットタイプの無電極放電ランプにおける励起コイル巻き付け中心位置と発光管最大直径位置との差 $\Delta C$ と光束との関係を示すグラフである。



図 1 1 は、コンピューターシミュレーションによる発光管内のガスの流れを示す模式図である。

図 1 2 は、公知の無電極蛍光ランプの一例を示す図である。

図 1 3 は、公知の無電極蛍光ランプの他の例を示す図である。

図 1 4 は、本発明による好適な実施の改変の形態を表す無電極蛍光ランプの模式図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

本願発明者は数多くの実験を繰り返すことで、アマルガムを使用せずに、かつランプの外観に影響を与えることなく、最冷点の温度を好適な範囲に制御できるランプ内部の構造物の寸法の最適な範囲を見出した。

ここで、図 2 を参照しながら、安定点灯時の発光管の最冷点の温度がどのように決まるかを説明する。図 2 は無電極蛍光ランプが「ベース（高周波電源回路 2 0 3 及び口金 2 0 2）を上にした」状態で点灯されている様子を表している（以降はベースアップ点灯と呼ぶ）。白熱電球は、通常はこのようなベースアップ点灯で使用される。図 2 において発光管 1 0 1 は J I S C 7 7 1 0 - 1 9 8 8 において定義された A 型形状の白熱電球に近似した略回転楕円体形状であり、光透過性のガラス、例えばソーダライムガラスによって形成される。凹入部 1 0 2 は発光管 1 0 1 と同じ材質で形成された略円筒形状であり、その開口端 1 0 3 において発光管 1 0 1 と溶着されている。発光管 1 0 1 は、排気管 1 0 4 から一旦真空中に排気されたのち、放電ガスとして少量の液状水銀（図示せず）と希ガス、例えば K r が室温時に 6 0 P a から 1 0 0 P a の圧力で封入されている（図示せず）。なお、ここで水銀は最初に水銀蒸気圧制御機能を有しない Z n - H g により発光管 1 0 1 内に入れられるが、Z n - H g から高温により放出された水銀は再度 Z n - H g に吸着されることはなく、一旦使用をはじめた無電極蛍光ランプでは、水銀元素の形態として封入されている。つまり、Z n - H g が水銀の供給源であっても実質的に水銀元素の形態として封入されていることになる。発光管 1 0 1 の内壁面には、ソーダライムガラスに含まれるナトリウムと水銀とが反応して黒化することを防ぐために、アルミナの保護膜（図示せず）が塗布され、その上か

ら蛍光体膜（蛍光体層）110が塗布されている。また、凹入部102の発光管101側の面には、アルミナよりなる可視光反射膜（図示せず）が塗布され、さらにその上に蛍光体膜（蛍光体層）110が塗布されている。

凹入部102の内側には、Mn-Zn系の軟磁性フェライトからなる磁芯（コア）106上に、絶縁被覆された銅のより線（リッツワイヤ）からなる励起コイル（巻線）105が、ソレノイド状に巻回されている。励起コイル105の両端線107は、電気絶縁性の樹脂部材によって構成されたハウジング201の内部に配設された高周波電源回路（点灯回路）203に接続されている。

通常の白熱電球用ソケットから直接給電できる口金202を介して供給された商用電源電力は、高周波電源回路203を通して周波数が約400kHzの高周波電流に変換されて励起コイル105に投入される。励起コイル105にこの高周波電流を与えることで、発光管101内部に誘導電場（図示せず）が生じる。この誘導電場の中で放電ガス中の電子が加速されて希ガスや水銀の原子と衝突し、励起と電離を繰り返すことで持続放電が生起し、図2に示すようにプラズマが発生する。

ここで高周波電源回路203が励起コイル105に印加する高周波電圧の周波数は約400kHzとしているが、実用的に一般的に使用されているISM帯の13.56MHzまたは数MHzに比べると、これは低い周波数である。この理由は、まず、13.56MHzまたは数MHzのような比較的高い周波数領域で動作させる場合、高周波電源回路203から発生するラインノイズを抑制するためのノイズフィルタが大型となり、高周波電源回路203の体積が大きくなってしまふからである。また、ランプから放射または伝播されるノイズが高周波ノイズの場合、高周波ノイズには非常に厳しい規制が法令にて設けられているため、その規制をクリアするには高価なシールドを設けて使用する必要がある、コストダウンを図る上で大きな障害となるからである。一方40kHz～1MHz程度の周波数領域で動作させる場合には、高周波電源回路203を構成する部材として、一般電子機器用の電子部品として使用されている安価な汎用品を使用することができるとともに、寸法の小さい部材を使用することが可能となるため、コストダウンおよび小型化を図ることができ、利点が大きいからである。ただし、本

構成においては約400kHzに限らず、40kHz～1MHzの範囲での別の周波数領域や、13.56MHzまたは数MHzのような比較的高い周波数領域においても動作させることができる。

図2において、発光管101内部で最も温度が高くなるのは、一般に励起コイル105からの誘導電場のエネルギーが、放電ガス中でジュール加熱の形で消費されるプラズマ部分である。このプラズマ部分で発生した熱は、発光管101外表面から外気へと放出される。従って、発光管101の中でプラズマ部分から最も離れていて、かつ外気と接している部分、すなわち発光管101の頂部が最冷点となる。安定点灯時には、発生する熱量と、外気へと放出される熱量とがつりあうことによって、最冷点の温度が決定される。なお、安定点灯時というのは、点灯後十分な時間（通常は数分から数十分）が経過し、プラズマ部分や励起コイル105、高周波電源回路203からの発熱と外気による冷却とが平衡状態に達して発光管101の温度部分布が一定して、それによって定まる蒸気圧の水銀が発光に寄与する状態をいう。

次に、このような構成よりなる無電極蛍光ランプにおいて、最冷点温度がランプ効率にどのような影響を与えるかを説明する。図3は、図2に示すような無電極蛍光ランプを実際に試作し、周囲の環境温度を変化させて強制的に最冷点の温度を制御し、その時のランプの全光束を測定する実験をおこなった結果である。図3において横軸は最冷点の温度（℃）、縦軸は全光束（lm）である。また本実験で用いた無電極蛍光ランプは、図2に示す構造を有しており、発光管101の最大直径（D）は75mm、凹入部102の開口端103から測った発光管101の高さ（h）は90mmであり、発光管101内部には微量の水銀液滴と、Krガスを室温時に80Paとなるように封入した。発光管101の最大直径は、発光管101の回転対称軸に直交する平面内におけるもので、発光管101の外壁側におけるものである。凹入部102の直径（外径）は21mm、凹入部102の開口端103から測った凹入部102の頂上部までの高さは58mmであった。発光管101や凹入部102の厚みは約0.8mmと小さいので、各直径や高さは厚み分を誤差として無視をして内径部分等を直径や高さにしてもよいし、厳密に厚み分まで換算して各直径や高さの値を算出してもよい。なお、凹入部1

02は、略円筒形状であるので、凹入方向の何れにおいても略同じ直径を有しており、凹入部の102の開口部と反対側に位置する部位の直径も21mmである。また口金202を通して投入した電力は20Wであり、高周波電源回路203での損失を加味した発光管101への実際の投入電力は約18Wであった。このような条件で点灯した場合の発光管101での単位表面積あたりの電力、すなわち安定点灯時の管壁負荷は約 $0.074\text{ W/cm}^2$ である。なお、管壁負荷の計算に当たっては、厳密に言えば発光管101のプラズマにおいて消費される電力を、発光管101の内表面積で割る必要がある。しかしながら、現実にはプラズマでの消費電力を正確に測定することは一般的に困難である。このため、ここでは正確に測定可能な、高周波電源回路203から励起コイル105に投入される電力を、発光管101の内表面積で割り算した値をもって管壁負荷と呼ぶこととする。

図3から明らかなように、最冷点が $40^{\circ}\text{C}$ 付近において無電極蛍光ランプの発光効率は最高となり、最冷点温度が上昇するにつれて急激に低下する。この実験に用いたランプでは、常温すなわち環境温度 $25^{\circ}\text{C}$ における最冷点温度は $47.2^{\circ}\text{C}$ で、全光束は $13801\text{ lm}$ であり、最冷点温度 $40^{\circ}\text{C}$ での全光束最高値より6%以上低い値となった。もし最冷点の温度を少なくとも $46^{\circ}\text{C}$ 以下にすることができれば、全光束の低下を最高値の約5%以内に抑えることが可能である。このため、本願発明者は、最冷点温度が決定されるメカニズムに立ち返って、最冷点温度の抑制手段の検討を行った。

上記メカニズムを考える上で重要なのは、発光管101内での熱の移動がどのように行われるかということであるが、本実験で用いられた発光管101内の圧力は $80\text{ Pa}$ と小さいので、従来は発光管101内部の熱の移動は、熱伝導によるものがほとんどであると考えられてきた。即ち、液晶プロジェクター用の高圧水銀灯に代表される高輝度放電ランプとは異なり、蛍光ランプ内のような低圧放電プラズマでは放電ガスの圧力が数百分の1気圧と非常に低いために、蛍光ランプの発光管内での、熱の散逸機構としての対流は従来無視されてきたのである。ここで本願発明者は、今まで熱移動に寄与すると考えられることのなかった対流に着目した。

上記蛍光ランプの発光管101内の対流を考えてみると、まず発光管101内

の放電ガスはプラズマ部分で加熱され、ハウジング 201 側へと上昇する。一方発光管 101 の管壁の、外気と接する領域では、外気への熱伝達によって放電ガスが冷却されるため、放電ガスはハウジング 201 側から発光管 101 頂部へと降下する。この結果、安定点灯中には発光管 101 内には図 2 中の矢印のような対流が存在すると考えられる。したがって、プラズマ部分で発生した熱は、放電ガスからの熱伝導のみでなく、この対流によっても移送されるので、こうしたプラズマ部分からの熱の移送経路が最も長くなり、かつ外気と接している部分、すなわち発光管 101 の頂部がやはり最冷点となるわけである。安定点灯時には、この最冷点へ熱伝導と対流によって移送される熱量と、発光管 101 外表面から外気へと放出される熱量とがつりあうことによって、最冷点の温度が決定されると考えることができる。

なお、図 2 ではベースアップ点灯時について説明したが、逆向きに点灯した場合、つまりハウジング 201 が下になるように点灯された場合には、対流の向きが逆になるものの、やはり熱源であるプラズマ部分から遠くかつ外気と接触している発光管 101 の頂部がベースアップ点灯時と同様に最冷点となる。最冷点への熱の移送経路も同様である。

ここで本願発明者は、なんらかの方法で、発光管 101 中の最高温部分であるプラズマ部分から最冷点への対流を妨げてやることで、最冷点の温度を制御することが可能なのではないかと発想したのである。

上記発想を確認するため熱流体シミュレーション技術を使用して、安定点灯時の発光管 101 内での放電ガスの動きを計算した。その結果、図 2 の凹入部 102 頂上付近に模式的に表したごとく、凹入部 102 の頂上付近では放電ガスの流れが大きく乱されることがわかった。この結果から、凹入部 102 を最冷点に近づけることで、プラズマ部分から最冷点への対流による熱移送を妨げ、最冷点の温度上昇を抑制することができるのではないかとこの着想を得た。

そこで、発光管 101 の大きさを一定として、凹入部 102 の長さの異なる無電極蛍光灯を多数試作し、最冷点温度と、凹入部 102 の頂上と発光管 101 の頂部の間隔  $\Delta h$  との相関を調べる実験を繰り返した。

図 4 にその結果を示す。図 4 において横軸は  $\Delta h$ 、縦軸は最冷点の温度を示し

ている。2本の線のうち、実線で示したのは凹入部102の直径（頂面近傍部分）が21mmの場合であり、点線は凹入部102の直径が25.4mmの場合のデータである。図4から明らかなように、 $\Delta h$ が小さいほど、つまり凹入部102の頂上部と発光管101の頂部との間隔が狭いほど最冷点の温度が低下し、またその効果は凹入部102の直径（頂面近傍部分）が大きいほうが顕著であることがわかった。つまり、凹入部102の頂面近傍部分（開口部と反対側に位置する部分）は、放電ガスの対流を抑制する機能を有していると言える。

なお、本実験において、凹入部102の直径を21mmと25.4mmとの2種類とした理由を述べる。凹入部102は、その内側に励起コイル105および磁芯106を収容し、さらにその内側に排気管104が配置されるが、図2に示すような無電極蛍光ランプでは、ランプの始動時にはプラズマが存在しないため、放電を開始するために上記励起コイル105には安定点灯時の10倍以上の電流が流れる。このような大電流が励起コイル105に流れると、磁芯106の、励起コイル105の巻回面に平行な断面積が十分に大きくない場合には、磁芯106内で過大な励磁場による飽和という現象を起こすため磁芯として機能しなくなる。その結果発光管101内に十分な誘導電場を発生させることができずランプが点灯できなくなる。このため、おのずから凹入部102の直径には下限が生じる。また、逆に凹入部102の直径が大きすぎる場合には、点灯時にプラズマが存在する空間、すなわち凹入部102と発光管101の外壁との間隔が小さくなる。この結果、この部分でのプラズマの両極性拡散損失が増大し、安定放電を維持することが困難となる。これらの理由から、通常の白熱電球代替を目的とした無電極蛍光ランプのサイズと消費電力を勘案すると、実用的に使用可能な凹入部102の直径は21mmから25.4mmの範囲の中およびその近傍にあると考えられる。なお、磁芯106として軟磁性フェライト以外の材質、例えば積層した薄い珪素鋼板やダストコアを用いることも可能であり、このような場合には凹入部102の直径を21mm以下にすることができる可能性もある。

図4から、最冷点温度が46℃以下となる領域をDcと $\Delta h$ の関係として表現すると、図6の点線で示した関係より下側の領域となり、数式表現としては、

$$\Delta h \leq 1.15 \times Dc + 1.25 \text{ [mm]}$$

を満たす関係であればよいという結論を得た。

なお、発光管 101 の全体的な温度は、概ね発光管 101 の単位面積あたりの投入電力、つまり管壁負荷によって決まるため、白熱電球の代替を目的として無電極蛍光ランプを設計する際には管壁負荷が大きく、一般的にここで検討された課題を有している。また、このような  $D_c$  と  $\Delta h$  の関係としたので、最冷点、即ち発光管 101 の頂部又はその近傍に冷却のための隆起部を設けなくてもよく、従って、隆起部を設けることに起因する強度の低下及び審美的観点からの不都合も生じない。

ここまで説明したように、最冷点の温度を抑制するためには、 $\Delta h$  は小さく、 $D_c$  は大きくすればより大きな効果を得ることができる。しかしながら、より大きな効果を得るために  $\Delta h$  をどんどん小さく、また  $D_c$  を大きくしていった場合、今度は発光管 101 の頂部、最冷点の近傍に、凹入部 102 の輪郭の影ができるという新たな課題が生じる。これは最冷点近傍から見た場合、 $\Delta h$  が小さくなれば、また  $D_c$  が大きくなれば、プラズマ部分から放射される紫外線が凹入部 102 の頂上部でさえぎられる割合が大きくなるために生じる効果である。

本願発明者はこの影響を最小限に止め得る  $\Delta h$  と  $D_c$  との関係をも調べるために、 $\Delta h$  と  $D_c$  とが異なる多くの無電極蛍光ランプを使用して、発光管 101 の側面の最も明るい部分と最冷点付近の影が生じる部分それぞれの輝度を測定して、影の強さと  $\Delta h$ 、 $D_c$  との関係を調べる実験も行った。発光管 101 の側面での輝度を  $S_s$ 、発光管 101 頂部の影になる部分の輝度を  $S_t$  として、その明るさのコントラストを、

$$C = (S_s - S_t) / (S_s + S_t)$$

で定義して、 $\Delta h$  とコントラストとの関係を調べたのが図 5 である。図 5 において横軸は  $\Delta h$ 、縦軸は上式で定義したコントラストであり、コントラストの値は大きいほど発光管 101 の側面と頂部とで明るさの差が激しい、すなわち影が目立つということを表している。実線で示したのは  $D_c$  が 21 mm の場合の結果であり、点線で示したのは  $D_c$  が 25.4 mm の場合の結果である。図 5 に示すように、 $\Delta h$  が小さいほど、また  $D_c$  が大きいほど、コントラストの値が大きくなり、輪郭影の影響が顕著になることがわかった。

ここで、コントラストがどの程度になると違和感を持つかという主観評価実験を行ったところ、コントラストの値が0.7程度になると、被験者8人中2人が違和感を感じたという結果を得た。

このコントラスト値が0.7以下となる領域を、 $\Delta h$ と $D_c$ の関係として表現したものが、図6の実線の関係であり、この線よりも上の領域では、凹入部102の輪郭影の影響を最小限に抑え得るといえる。この領域を数式で表現すると、

$$\Delta h \geq 1.16 \times D_c - 17.4 \text{ [mm]}$$

との関係式を得る。以上から、 $\Delta h$ と $D_c$ を図6の点線と実線に囲まれた領域内の関係となるように設計すれば、外観上凹入部102の輪郭影の影響を最小限にしつつ、最冷点温度を4℃以下に抑制して好適なランプ効率を得ることができる。

なお、この輪郭影の影響を抑えることがどこまで重要かは、このような無電極蛍光ランプの実使用時の使用形態にも依存する。例えば開口部に拡散板を備えたような器具内での使用であったり、また人間の視線より低い位置に設置されるような場合には、輪郭影の影響はさほど重要ではない。このため、凹入部102の輪郭影の影響を最小限にするための条件は、必ずしも必須のものではない。

また、図12に示す米国特許第5,291,091号公報における無電極蛍光ランプや、図13に示す米国特許第5,825,130号公報における無電極蛍光ランプのような従来の公知の無電極蛍光ランプは、上記二つの式を満たす形状を有していない。

次に、本願発明者は、発光効率をより高くするためにプラズマの発生位置に着目した。つまり、プラズマの発生する中心部がハウジング201に近すぎれば発光管101の管壁での両極性拡散が強くなり、プラズマを維持するために消費される電力が増加して効率が低下する。また逆に、プラズマの発生する中心部が最冷点に近すぎると、凹入部102による対流抑制の効果が相殺されて最冷点の温度が上昇し、やはり効率が低下することになると考えたのである。プラズマの発生する中心部は、磁芯106における励起コイル105が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部にほぼ対応すると考えられ、この部分が発光管101の最大直径となる部分に一致すると、管壁での両極性拡散による損失が最



も少なくなると推定した。

図11は、発光管101内部のガスの流れをコンピュータでシミュレーションし、発光管101縦断面のうち半分を示した図である。ガスの流れを矢印で示している。励起コイル105の巻き付け長手方向の中心部112と、発光管101の最大直径部分114との距離 $\Delta C$  [mm] は、最大直径部分114からベース側に向かう側を負としている。この図では $\Delta C = -8$  [mm] としている。図より明らかなように、ガスの流れは、凹入部102と発光管101との間であつてかつ発光管101の最大直径部分114に当たるところを中心とした渦を形成している。この流れは、凹入部102に沿ってハウジング201の方へ向かい、ハウジング201が発光管101と重なる辺りで凹入部102から発光管101内壁側に向かい、それから発光管101内壁に沿って発光管101頂部（最冷点）の方に向かっていく。そして凹入部102の頂上に対応する辺りで発光管101内壁から凹入部102の方に向かい、再び凹入部102に沿ってハウジング201側へと向かっていく。

ここで、図11では、 $D_c$  と  $\Delta h$  の関係が

$$\Delta h \leq 1.15 \times D_c + 1.25 \text{ [mm]}$$

を満たしているため、ガスの流れは、凹入部102の頂上部分と発光管101の頂部との間の領域116には入り込まないことがわかる。つまり、高温のガスの流れが最冷点にまで達しておらず、凹入部102による対流制御が功を奏しているがわかる。

上記シミュレーションはガスの流れに関するものであるが、それとは別に、最も発光効率のよいプラズマ発生位置を上記推定に従って調べるため、励起コイル105の磁芯106への巻位置を種々変更して実験した。その結果、励起コイル105の巻き付け長手方向の中心部112及び発光管101の最大直径部分114の距離 $\Delta C$ とランプの全光束との関係を表したものが図9である。この図から明らかなように、 $\Delta C$ が $-8 \sim -30$  mmであると実用上問題のない発光効率となり好ましい。 $\Delta C$ が $-12 \sim -16$  mmであると発光効率がより大きくなるためより好ましく、 $\Delta C$ が $-14$  mmのときに光束が最大になり発光効率が最もよくなるためさらに好ましい。ここで、上記推定と異なって、 $\Delta C = 0$  [mm] の

ときに光束が最大にならなかったのは、 $\Delta C$ が $-14\text{ mm}$ よりも大きくなることによって、励起コイルの巻位置中心が最冷点の方に近づくと、高温のガスが最冷点に近づくことになるが、管壁負荷が大きいために、最冷点温度が上がってしまい効率が下がることが理由であると考えられる。つまり、従来考慮されることのなかった励起コイル105の磁芯106への巻位置および $D_c$ と $\Delta h$ の関係双方ともに考慮して、最適な効率となるように設定したので、励起コイル105の磁芯106への巻位置が発光管101の最大直径部分114からマイナス側へずれたのである。

これまで説明してきた無電極蛍光ランプは、 $100\text{ W}$ の白熱電球に相当するいわゆる高ワットタイプと呼ばれるものであるが、 $60\text{ W}$ の白熱電球に相当するいわゆる低ワットタイプと呼ばれるものは、サイズや管壁負荷が高ワットタイプのものと異なるため、 $D_c$ と $\Delta h$ の関係を別途検討した。以下に、低ワットタイプの無電極蛍光ランプについて説明する。

低ワットタイプの無電極蛍光ランプも、形状は高ワットタイプのものとほぼ同じであり図2に示す形状である。発光管101の最大直径( $D$ )は $65\text{ mm}$ 、凹入部102の開口端103から測った発光管101の高さ( $h$ )は $72\text{ mm}$ であり、発光管101内部には微量の水銀液滴と、 $\text{Kr}$ ガスを室温において $80\text{ Pa}$ となるように封入した。凹入部102の直径(プラズマ部分と接する外直径で表す)は $21\text{ mm}$ 、凹入部102の開口端103から測った凹入部102の頂上部までの高さは $58\text{ mm}$ であった。また口金202を通して投入した電力は $12\text{ W}$ であり、高周波電源回路203での損失を加味した発光管101への実際の投入電力は約 $11\text{ W}$ であった。このような条件で点灯した場合の発光管101での単位表面積あたりの電力、すなわち安定点灯時の管壁負荷は約 $0.06\text{ W}/\text{cm}^2$ である。

高ワットタイプと同様に、低ワットタイプでも最冷点温度および発光管101頂部での凹入部102の輪郭影の影響と、 $\Delta h$ および $D_c$ の関係を調べる実験を行った。その結果得られた好適な $\Delta h$ と $D_c$ の範囲は図7の2本の直線には含まれた領域である。図7の詳細な説明は図6と同様であるので省略する。この図から得られる好適な $\Delta h$ と $D_c$ の関係の数式表現は、

$$\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 22.4 \text{ [mm]}$$

および、

$$\Delta h \geq 1.16 \times D_c - 17.4 \text{ [mm]}$$

である。

また、励起コイル105の磁芯106への巻位置を種々変更して実験した結果、励起コイル105の巻き付け長手方向の中心部112及び発光管101の最大直径部分114の距離 $\Delta C$ とランプの全光束との関係を表したものが図10である。この図から明らかなように、 $\Delta C$ がほぼ0mmであると光束が最大になり発光効率が最もよくなるため好ましい。なお、低ワットタイプでは高ワットタイプと異なり管壁負荷が小さいので、上記の推定の通り $\Delta C = 0$  [mm]のときに光束が最大になった。

以下、消費電力100Wの白熱電球相当の無電極蛍光ランプおよび消費電力60W相当の無電極蛍光ランプの構成についてより詳細に説明する。なお、本発明は、これらの例に限定されない。

#### <100W用白熱電球相当の無電極蛍光ランプ>

図1は上記の検討結果を採用した、本発明にかかる無電極蛍光ランプの、一つの好適な実施の形態の例を示している。図2において説明した構成と同じ構成要素には同じ図番を付し、説明を省略する。

図1において、発光管101と励起コイル（巻線）105及び磁芯（コア）106からなる誘導コイルと高周波電源回路（点灯回路）203と口金202とは一体に構成されており、発光管101は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、発光管101のうちの高周波電源回路203側には、誘導コイルが挿入される凹入部102が設けられており、この凹入部102は、高周波電源回路203側に開口部を有する略円筒形状を有し、且つ、凹入部102のうち開口部と反対側に位置する部位（頂上部分）は、放電ガスの対流を抑制する機能を有している。また、磁芯106内には金属、好ましくは熱伝導率の高い銅またはアルミニウム製の放熱チューブ108が配設され、放熱チューブ108は同じく銅またはアルミニウム製の放熱部材109に接続されている。これらによって、点灯中の磁芯106および励起コイル105の温度を低く保つ。通常の白熱電球用ソ

ケットに直接接続できる口金 202 によって供給された商用電源電力は、高周波電源回路 203 によって周波数 400 kHz の高周波電流に変換され、励起コイル 105 の両端線 107 から励起コイル 105 へと投入される。また、放熱部材 109 に発生する渦電流を低減させる目的で、放熱部材 109 と磁芯 106 の図での最上部との間には空間が設けられている。口金 202 を通じてランプ全体で消費される電力は 20 W であり、これは消費電力 100 W の白熱電球代替用の電球形蛍光ランプとして好適なものである。このときの、高周波電源回路 203 における損失を考慮した、発光管 101 での管壁負荷の値は約  $0.085 \text{ W/cm}^2$  となった

この例において、発光管 101 の最大直径 (D) は 70 mm、凹入部 102 の開口端 103 から測った発光管 101 の高さ (h) は 80 mm、凹入部 102 の直径 Dc は 23 mm、 $\Delta h$  は 15 mm であり、この構成は先に説明した図 6 の 2 本の直線の間の領域にある。すなわち、

$$\Delta h \leq 1.15 \times Dc + 1.25 \text{ [mm]}$$

および

$$\Delta h \geq 1.16 \times Dc - 17.4 \text{ [mm]}$$

の関係を満足しており、凹入部 102 の輪郭影の影響を最大限に抑えつつ、最冷点温度を 46 °C 以下に抑制することが可能となっている。なお、凹入部 102 は、略円筒形状であるので、凹入方向の何れにおいても略同じ直径を有しており、凹入部の 102 の開口部と反対側に位置する部位の直径も 23 mm である。また、磁芯 106 における励起コイル 105 が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部と発光管 101 の最大直径部分との距離  $\Delta C$  が  $-14 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ 、より好ましくは  $-14 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  であり、最冷点温度制御とプラズマの抵抗とのバランスをとって発光効率を大きくしている。

この例では、100 W 相当の白熱電球に近似した形状及びサイズのまま、凹入部 102 の直径 Dc 及び凹入部 102 の頂面とそれに対向する発光管 101 の頂部との間隔  $\Delta h$  を一定の関係とすることにより、無電極蛍光ランプの最冷点温度を制御することができ、アマルガムを用いなくても発光効率を高めることができる。また、励起コイル 105 の巻き付け長手方向の中心部を発光管 101 の最大

直径部分から一定の距離範囲内にしているので、発光効率を高くすることができる。つまり、白熱電球代替を目的とした本発明の実施形態の電球形無電極放電ランプでは、凹入部の直径及び凹入部頂上と発光管頂部との距離を一定の関係とすることで、白熱電球に近似した外観、サイズを損なうことなく、最冷点の温度を制御することが可能となる。これによって、アマルガムを使用する必要がなくなり、明るさの立ち上がりとランプ効率を両立した電球形の無電極放電ランプとすることができる。

#### < 60W用白熱電球相当の無電極蛍光ランプ >

図8は本発明にかかる好適なもう一つの実施の形態の例を示している。図8では、発光管101と励起コイル（巻線）105及び磁芯（コア）106からなる誘導コイルと高周波電源回路（点灯回路）203と口金202とは一体に構成されており、発光管101は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、発光管101のうちの高周波電源回路203側には、誘導コイルが挿入される凹入部102が設けられており、この凹入部102は、高周波電源回路203側に開口部を有する略円筒形状を有し、且つ、凹入部102のうち開口部と反対側に位置する部位（頂上部分）は、放電ガスの対流を抑制する機能を有していて、消費電力60Wの白熱電球に相当する電球形蛍光ランプとして好適な構成となるような実施の形態の例である。この例では、より消費電力の小さいランプに好適なように、発光管101の最大直径（D）を65mmとし、また凹入部102の開口端103から測った発光管101の高さ（h）も72mmとしてランプの小型化を図っている。また口金202を通してランプ全体に供給される消費電力は11Wとしている。この場合の高周波電源回路203における損失を考慮した発光管101の管壁負荷は約 $0.06\text{ W/cm}^2$ となった。また、消費電力が小さくなったことから、金属製の放熱チューブ108および放熱部材109は使用していない。しかしながら、小型の灯具内での使用など、使用条件によって温度が上昇する可能性がある場合には、これらの部材を使用することももちろん可能である。

本実施の形態において、凹入部102の直径 $D_c$ は21mm、 $\Delta h$ は12mmであり、この構成は図7の2本の直線の間の領域にある。即ち、

$$\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 22.4 \text{ [mm]}$$

および、

$$\Delta h \geq 1.16 \times D_c - 17.4 \text{ [mm]}$$

の関係を満足しており、凹入部 102 の輪郭影の影響を最大限に抑えつつ、最冷点温度を 45℃以下に抑制することが可能となっている。また、磁芯 106 における励起コイル 105 が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部と発光管 101 の最大直径部分との距離  $\Delta C$  が  $0 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ 、より好ましくは  $0 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  である。つまり、100W 用に比べて管壁負荷が小さいため、プラズマの抵抗が最小となる  $\Delta C = 0 \text{ mm}$  において最冷点温度も好適に制御できて、発光効率を大きくしている。

本例では、60W 相当の白熱電球に近似した形状及びサイズのまま、凹入部 102 の直径  $D_c$  及び凹入部 102 の頂面とそれに対向する発光管 101 の頂面との間隔  $\Delta h$  を一定の関係とすることにより、実施の形態 1 と同様に無電極蛍光灯の最冷点温度を制御することができ、アマルガムを用いなくても発光効率を高めることができる。また、励起コイル 105 の巻き付け長手方向の中心部を発光管 101 の最大直径部分と実質的に一致しているので、発光効率を高くすることができる。即ち、60W 相当の白熱電球代替を目的とした本実施の形態の電球形無電極放電ランプでは、凹入部の直径及び凹入部頂上と発光管頂部との距離を一定の関係とすることで、白熱電球に近似した外観、サイズを損なうことなく、最冷点の温度を制御することが可能となる。これによって、アマルガムを使用する必要がなくなり、明るさの立ち上がりとランプ効率を両立した電球形の無電極放電ランプとすることができる。

#### < 改変の形態 >

図 14 は本発明にかかる好適なもう一つの実施の形態の例を示している。本形態では、凹入部 102 が 2 種類の径の円筒を組み合わせて形成されている。凹入部 102 のうち、開口部と反対側に位置する部位、即ち凹入部 102 の頂面部分 122 の直径  $D_c$  は、励起コイル 105 が位置している部分の直径よりも大きい。このような構成にすることにより、励起コイル 105 の長手方向中央部 130 における凹入部 121 と発光管 101 内壁との距離を十分大きくとることができて両極性拡散によるプラズマの損失を低減させることが可能となるのと同時に、頂

面部分 122 の直径  $D_c$  を放電ガスの対流を抑制するための十分な大きさを確保することができる。

なお、ここまでに述べた例では、発光管 101 の内面には蛍光体膜を塗布した場合（図示はしていない）を記述しているが、蛍光体膜を塗布せず、また発光管 101 を紫外線を透過する材質、例えば適切な純度の熔融石英やフッ化マグネシウムを使用して、水銀からの紫外線を直接利用するような無電極ランプとしても、最冷点温度を抑制することで紫外線の強度を最適化することが可能である。

また、ここまでの実施の形態の例では、ランプ本体と高周波電源回路 203 が一体となっている場合を述べてきたが、高周波電源回路 203 を別体としてランプ本体から離して設置するような形態も同様に実施可能である。

さらに、凹入部 102 の頂上部分にもアルミナなどによりなる可視光反射膜や蛍光体膜、またはその両方を塗布することで、発光管 101 頂部の凹入部 102 の輪郭影の影響を軽減することが可能である。

また、図 1 や図 8 では、凹入部 102 の頂上は角が四角い形状を記載しているが、必ずしも鋭利な角を持つ必要はない。角が丸い、或いは傾斜した頂上部とすることも可能である。

さらに、これまでの実施の形態の例では凹入部 102 の内部に励起コイル 105 を挿入する形態を説明してきたが、駆動周波数を更に高い、例えば 13.56 MHz を使用し、励起コイル 105 を発光管 101 の外側に巻回するような構成においても、凹入部 102 の最冷点温度に対して与える影響は同様であり、同様の効果を得ることが出来る。また、励起コイル 105 を凹入部 102 内に挿入する形態でも、駆動周波数が高い、例えば 13.56 MHz を使用する場合には、磁芯 106 は必ずしも必要ではない。また、励起コイル 105 で生じた高周波磁場が金属製の放熱部材 109 内で渦電流損失を生じるのを抑制するため、電気伝導性の低い磁性体、好ましくは Mn-Zn 系または Ni-Zn 系の軟磁性フェライトよりなる円板を放熱部材 109 と発光管 101 の図での最上部との間に配置してもよい。

以上のように本発明によれば、従来とは異なるアプローチで最冷点の温度を好適な範囲に制御した電球形無電極放電ランプ及び無電極放電ランプ点灯装置を提

供できる。

#### 産業上の利用可能性

本発明は、無電極放電ランプ点灯装置の発光効率を高めるという点で有用であり、特に電球形無電極放電ランプに適している。



### 請求の範囲

1. 水銀と希ガスとを含む放電ガスが封入された発光管と、

前記発光管の近傍に設けられた誘導コイルと、

前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路と、

前記点灯回路に電氣的に接続された口金と

を備え、

前記発光管と前記誘導コイルと前記点灯回路と前記口金とは一体に構成されており、

前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、

前記発光管のうちの前記点灯回路側には、前記誘導コイルが挿入される凹入部が設けられており、

前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有し、横断面が略円形の筒形状であり、且つ、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位は、前記放電ガスの対流を抑制する機能を有しており、

前記発光管の最大直径は、60 mm以上90 mm以下であり、

安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.07 \text{ W/cm}^2$ 以上 $0.11 \text{ W/cm}^2$ 以下であり、そして、

前記発光管の前記最大直径(D)に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ(h)の比( $h/D$ )は、1.0以上1.3以下であり、

前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を $\Delta h$ とし、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位の直径を $D_c$ としたときに、

$$\Delta h \leq 1.15 \times D_c + 1.25 \text{ [mm]}$$

の関係を満たす、電球形無電極放電ランプ。

2. 前記直径 $D_c$ と前記間隔 $\Delta h$ とが、

$$\Delta h \geq 1.16 \times D_c - 17.4 \text{ [mm]}$$

の関係を満たす、請求項1に記載の電球形無電極放電ランプ。

3. 前記発光管の前記最大直径は65 mm以上80 mm以下である、請求項1

または2に記載の電球形無電極放電ランプ。

4. 前記誘導コイルは、コアと、当該コアに巻き付けられた巻線とから構成されており、

前記コアにおける前記巻線が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部位は、前記発光管の前記最大直径が存在する平面よりも、前記点灯回路側の方へ8 mm以上20 mm以下の距離だけ離れた範囲内に位置している、請求項1から3の何れか一つに記載の電球形無電極放電ランプ。

5. 水銀と希ガスとを含む放電ガスが封入された発光管と、

前記発光管の近傍に設けられた誘導コイルと、

前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路と、

前記点灯回路に電氣的に接続された口金と

を備え、

前記発光管と前記誘導コイルと前記点灯回路と前記口金とは一体に構成されており、

前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、

前記発光管のうちの前記点灯回路側には、前記誘導コイルが挿入される凹入部が設けられており、

前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有し、横断面が略円形の筒形状であり、且つ、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位は、前記放電ガスの対流を抑制する機能を有しており、

前記発光管の最大直径は、55 mm以上75 mm以下であり、

安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.05 \text{ W/cm}^2$ 以上 $0.07 \text{ W/cm}^2$ 未満であり、そして、

前記発光管の前記最大直径(D)に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ(h)の比( $h/D$ )は、1.0以上1.3以下であり、

前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を $\Delta h$ とし、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位の直径を $D_c$ としたときに、

$$\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 22.4 \text{ [mm]}$$

の関係を満たす、電球形無電極放電ランプ。

6. 前記直径  $D_c$  と前記間隔  $\Delta h$  とが、

$$\Delta h \geq 1.16 \times D_c - 17.4 \text{ [mm]}$$

の関係を満たす、請求項 5 に記載の電球形無電極放電ランプ。

7. 前記発光管の前記最大直径は 60 mm 以上 70 mm 以下である、請求項 5 または 6 に記載の電球形無電極放電ランプ。

8. 前記誘導コイルは、コアと、当該コアに巻き付けられた巻線とから構成されており、

前記コアにおける前記巻線が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部位は、前記発光管の前記最大直径が存在する平面上に実質的に存在している、請求項 5 から 7 の何れか一つに記載の電球形無電極放電ランプ。

9. 前記水銀は、アマルガムの形態でなく、水銀元素の形態で前記発光管に封入されている、請求項 1 から 8 の何れか一つに記載の電球形無電極放電ランプ。

10. 前記希ガスの封入圧力は、60 Pa 以上 300 Pa 以下である、請求項 1 から 9 の何れか一つに記載の電球形無電極放電ランプ。

11. 前記発光管の内表面に蛍光体層が形成されている、請求項 1 から 10 の何れか一つに記載の電球形無電極放電ランプ。

12. 前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位の直径  $D_c$  は、前記凹入部のうち前記誘導コイルの長手方向における略中央部が位置する部位の直径よりも大きい、請求項 1 から 11 の何れか一つに記載の電球形無電極放電ランプ。

13. 水銀と希ガスとを含む放電ガスが封入され、凹入部を有する発光管と、前記凹入部に挿入された誘導コイルと、

前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路とを備え、

前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、

前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有し、横断面が略円形の筒形状であり、

前記発光管の最大直径は、60 mm以上90 mm以下であり、  
安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.07 \text{ W/cm}^2$ 以上 $0.11 \text{ W/cm}^2$ 以下であり、そして、

前記発光管の前記最大直径(D)に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ(h)の比(h/D)は、1.0以上1.3以下であり、

前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を $\Delta h$ とし、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位の直径を $D_c$ としたときに、

$$\Delta h \leq 1.15 \times D_c + 1.25 \text{ [mm]}$$

の関係を満たす、無電極放電ランプ点灯装置。

14. 水銀と希ガスとを含む放電ガスが封入され、凹入部を有する発光管と、  
前記凹入部に挿入された誘導コイルと、  
前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路と  
を備え、

前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、

前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有し、横断面が略円形の筒形状でありする略円筒形状を有し、

前記発光管の最大直径は、

55 mm以上75 mm以下であり、

安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.05 \text{ W/cm}^2$ 以上 $0.07 \text{ W/cm}^2$ 未満であり、そして、

前記発光管の前記最大直径(D)に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ(h)の比(h/D)は、1.0以上1.3以下であり、

前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を $\Delta h$ とし、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位の直径を $D_c$ としたときに、

$$\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 22.4 \text{ [mm]}$$

の関係を満たす、無電極放電ランプ点灯装置。

15. 前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位の直径 $D_c$ は、前記凹入部のうち前記誘導コイルの長手方向における略中央部が位置する部位の直径よりも大きい、請求項13又は14に記載の無電極放電ランプ点灯装置。

1/14

FIG. 1

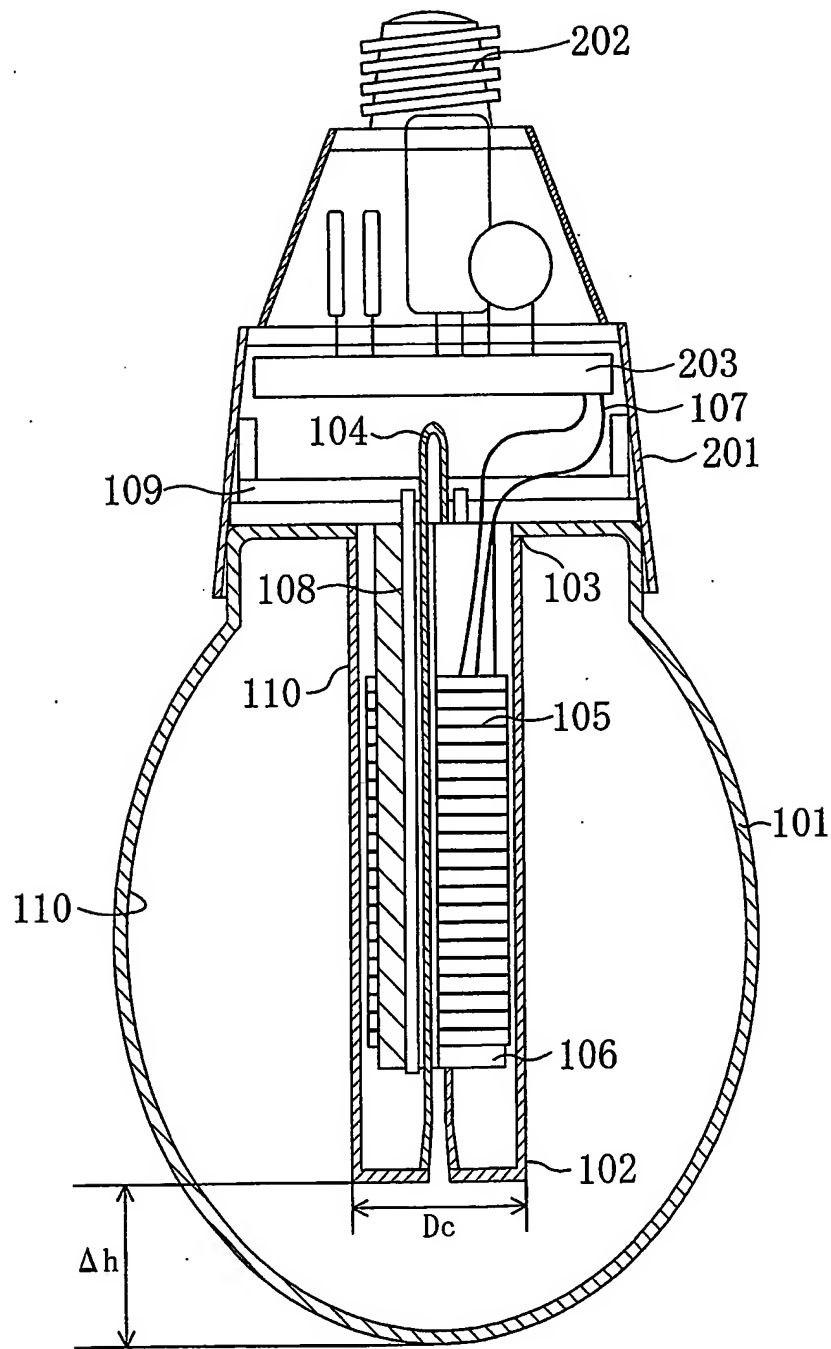
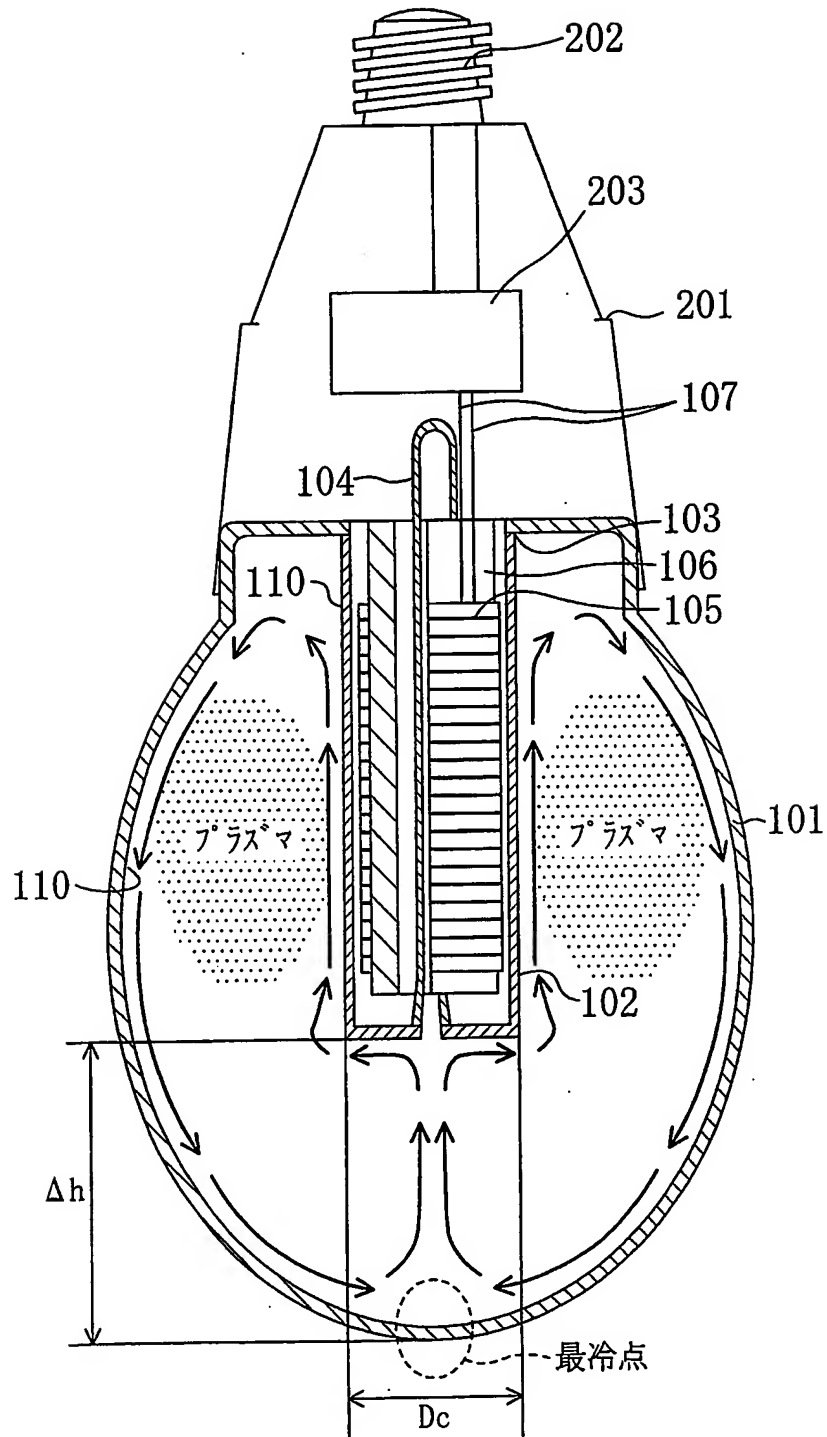
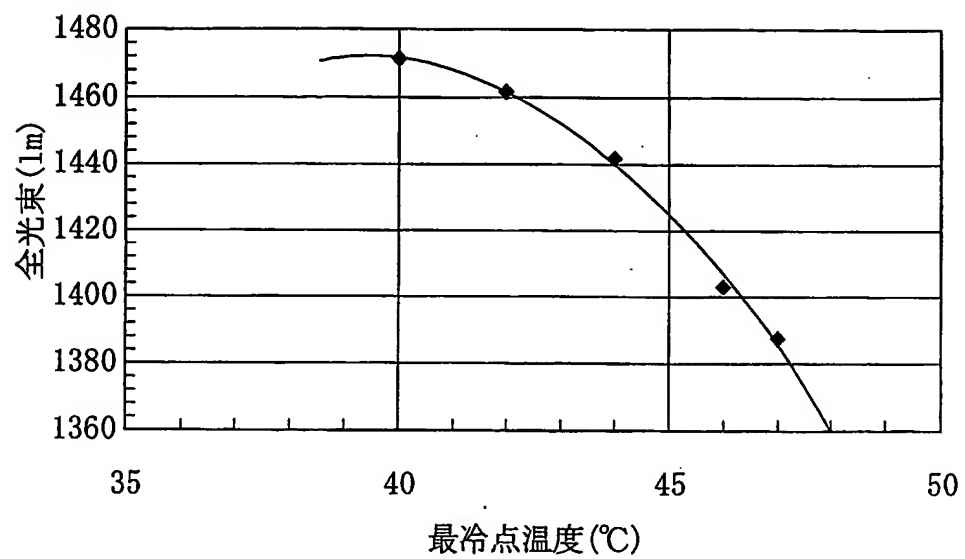


FIG. 2



3/14

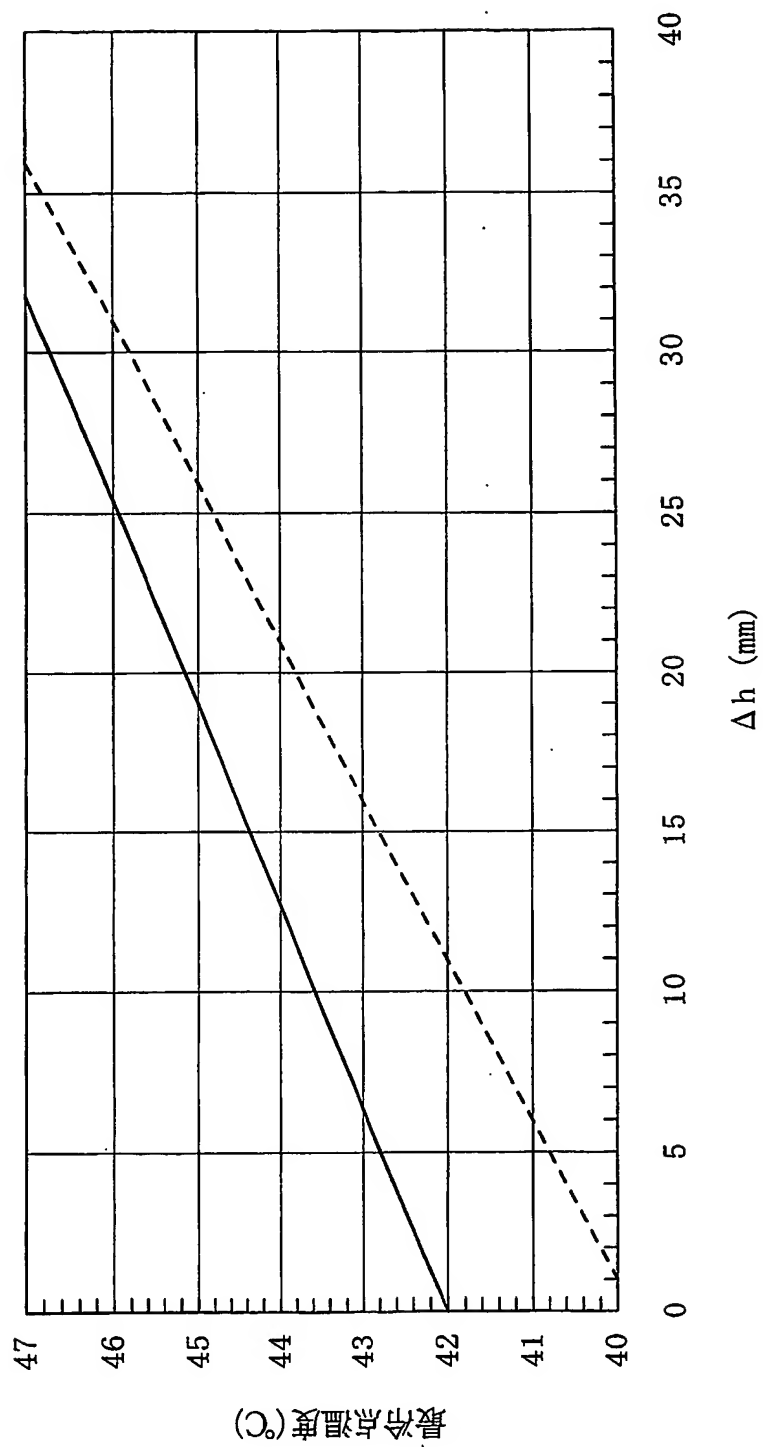
FIG. 3





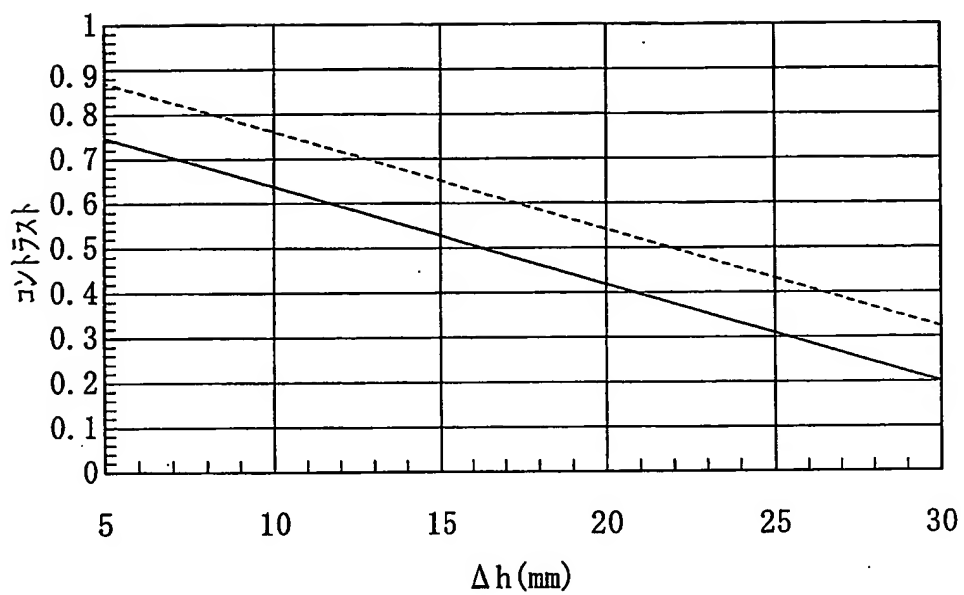
4/14

FIG. 4



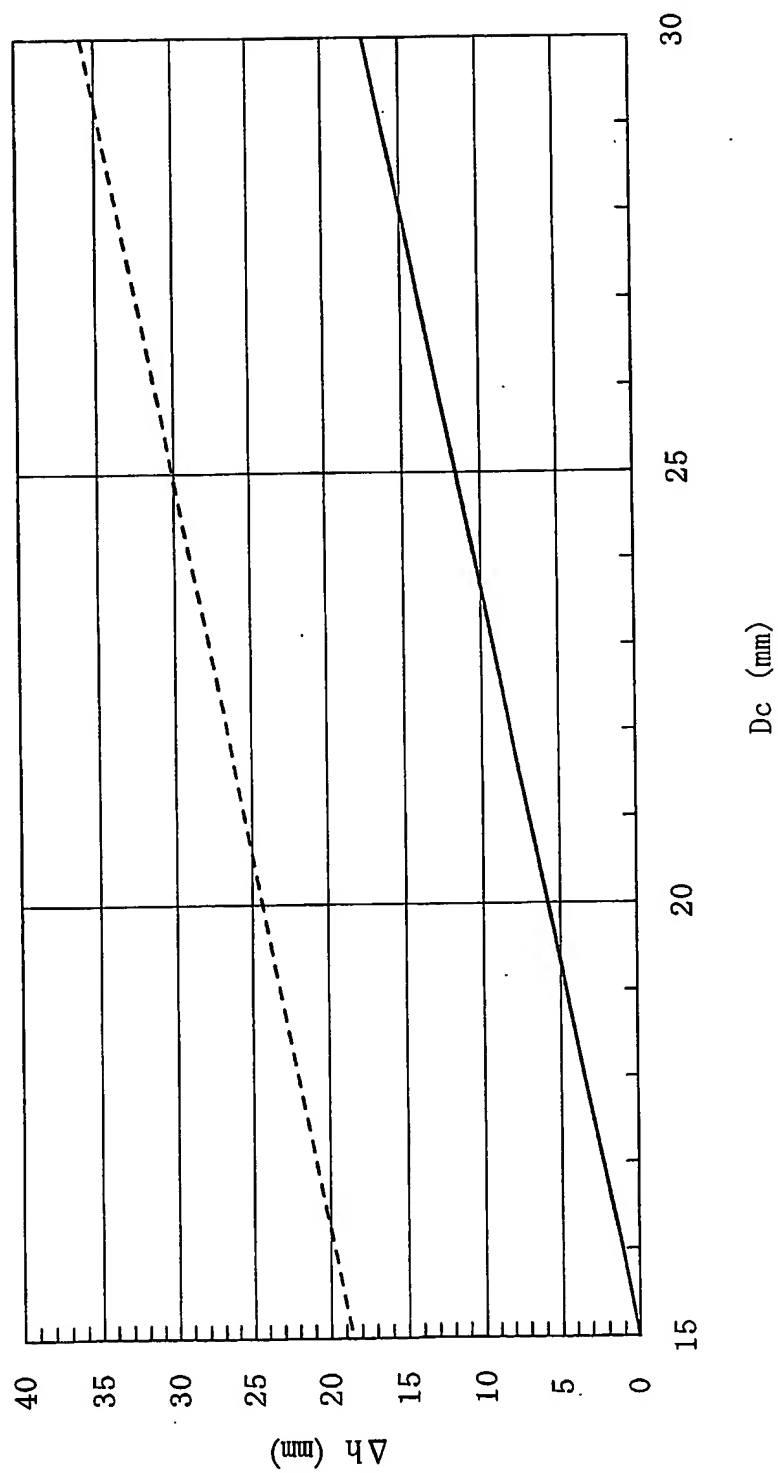
5/14

FIG. 5



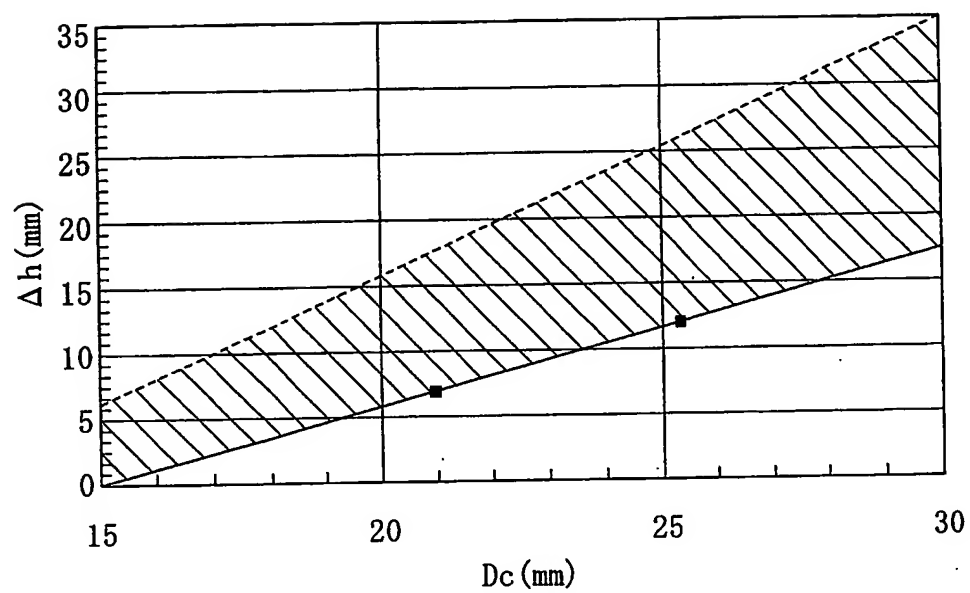
6/14

FIG. 6



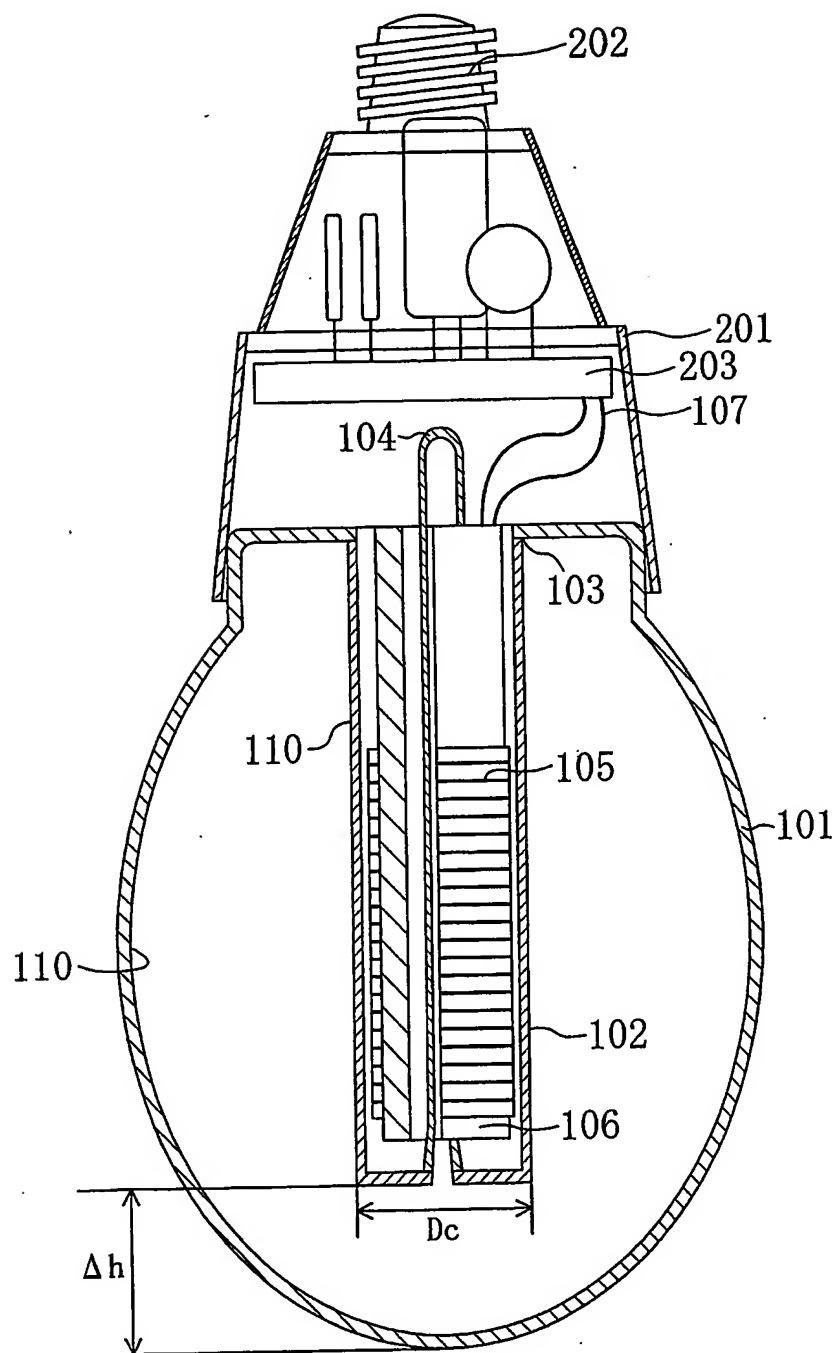
7/14

FIG. 7



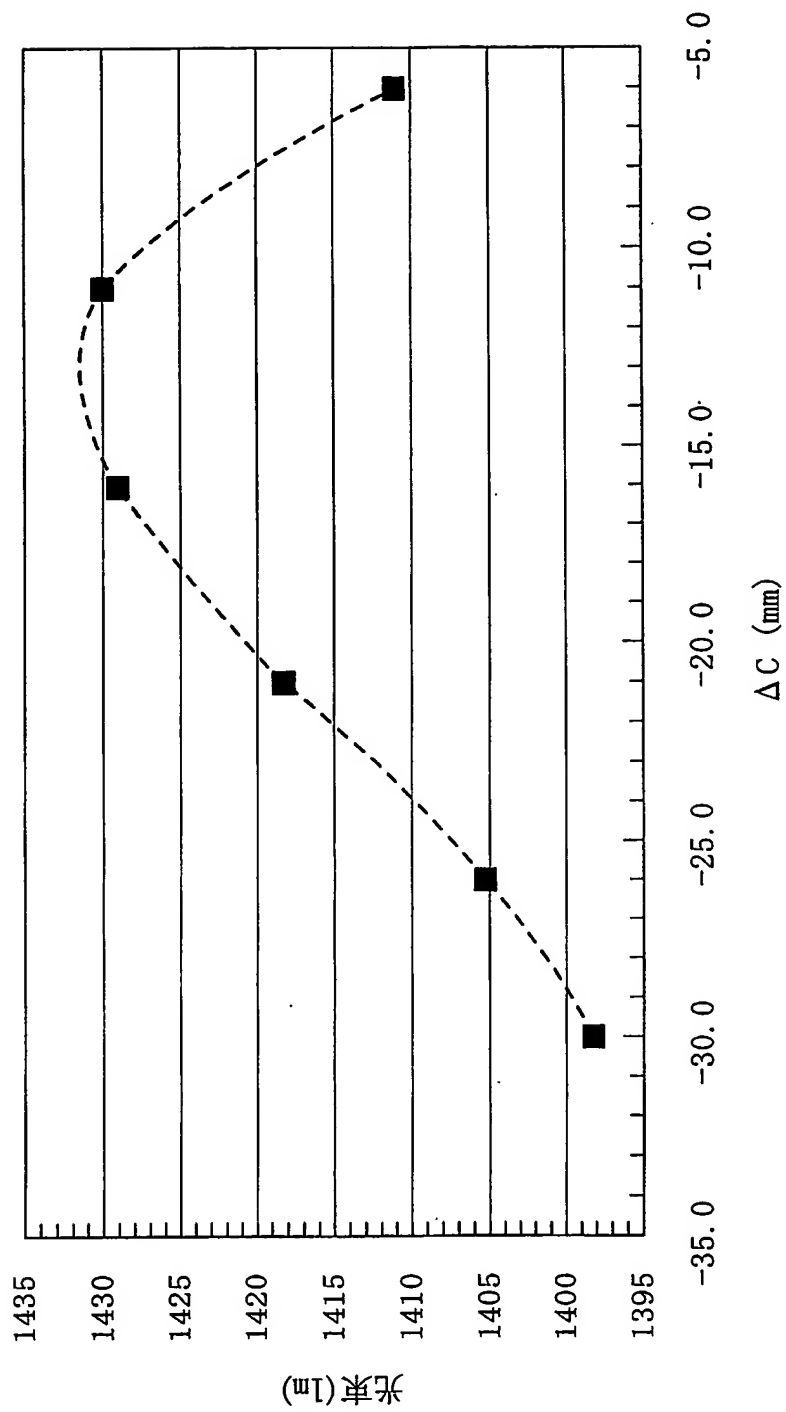
8/14

FIG. 8



9/14

FIG. 9



10/14

FIG. 10

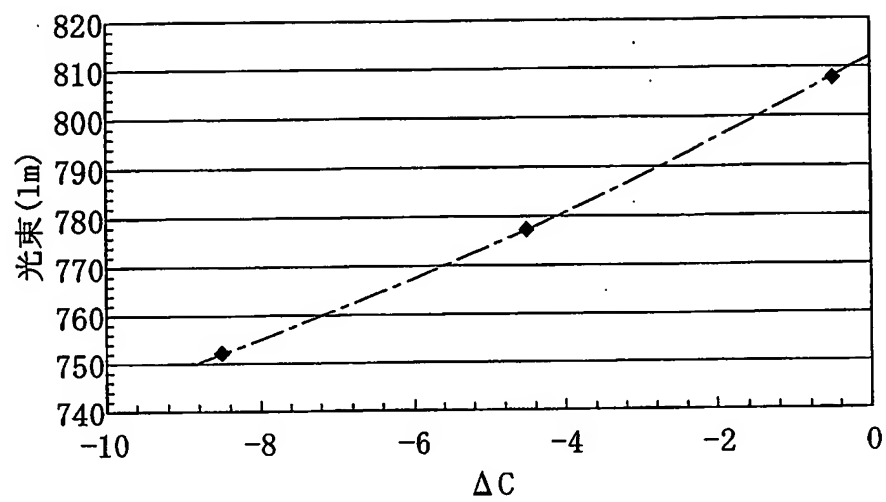
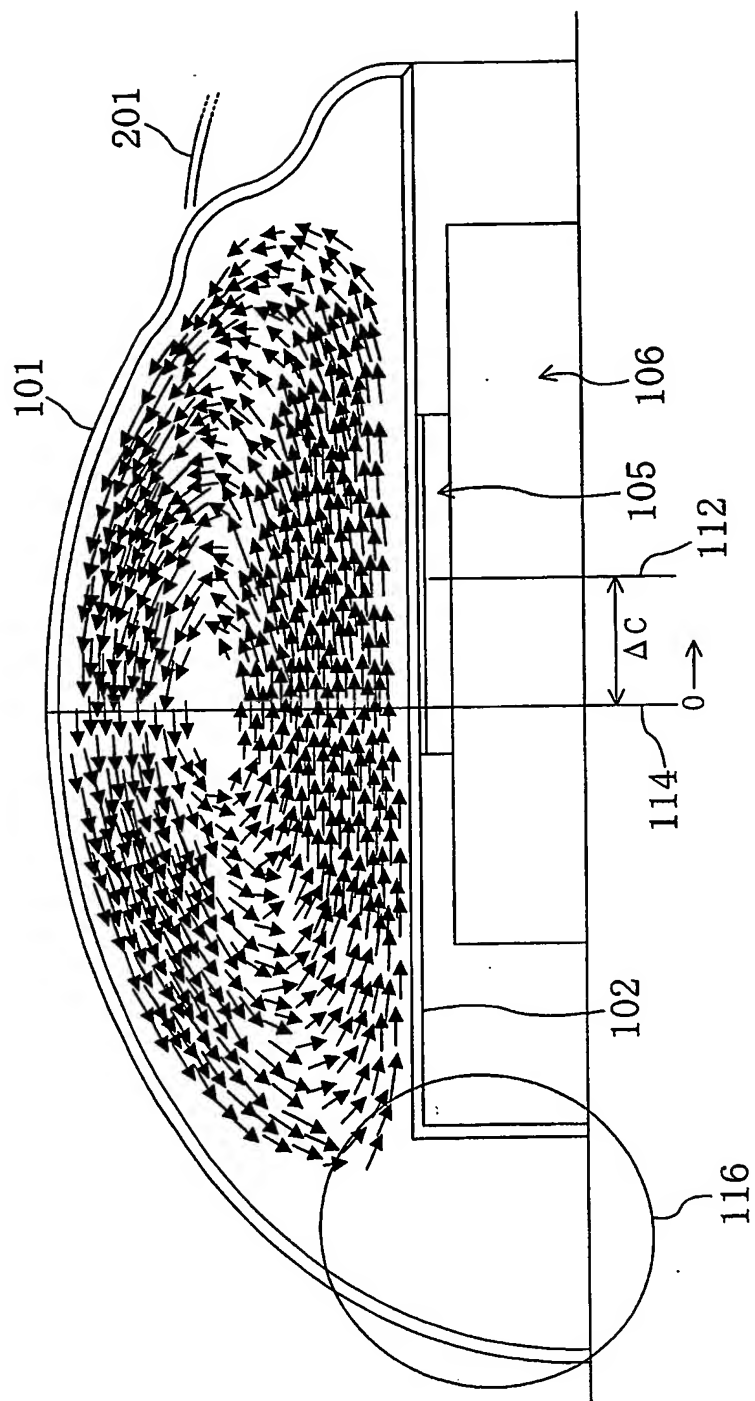


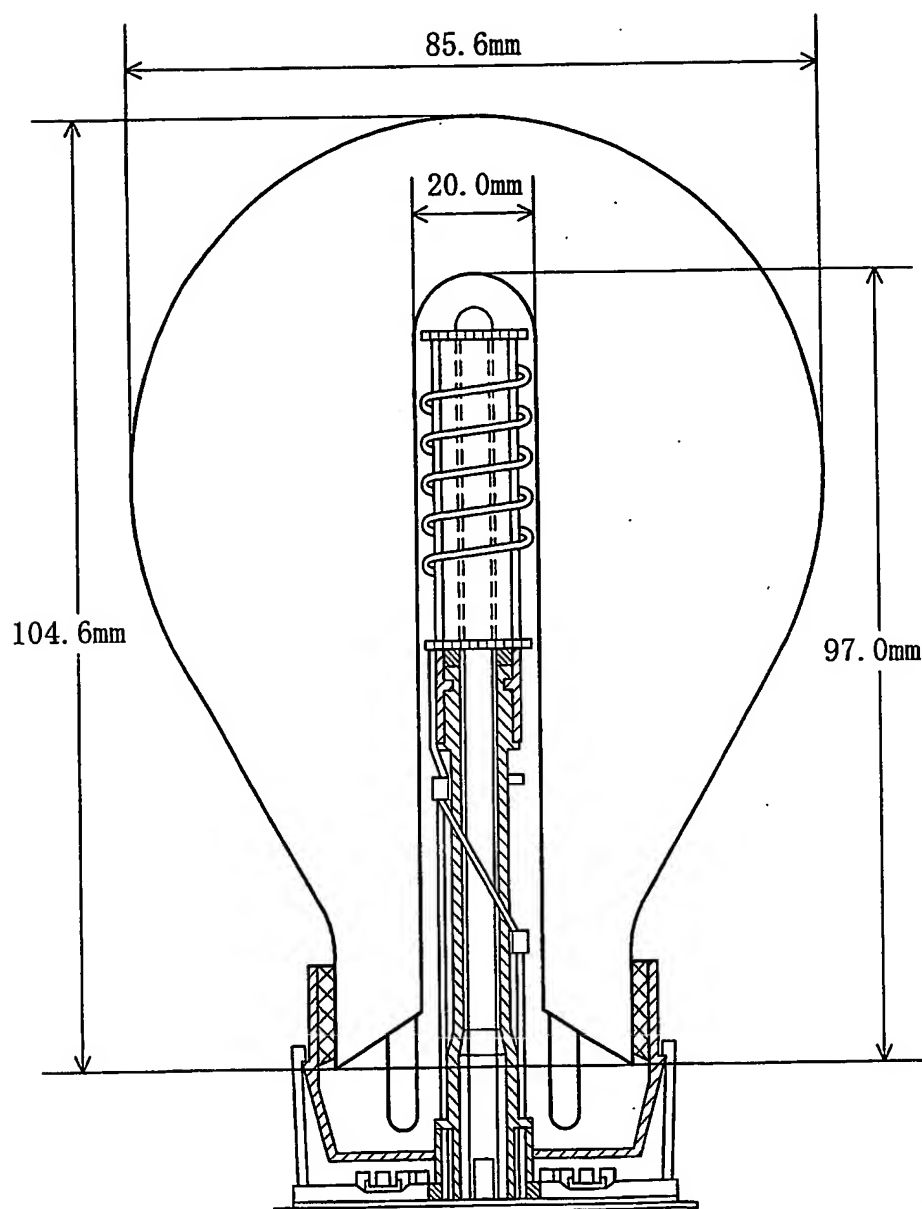
FIG. 11





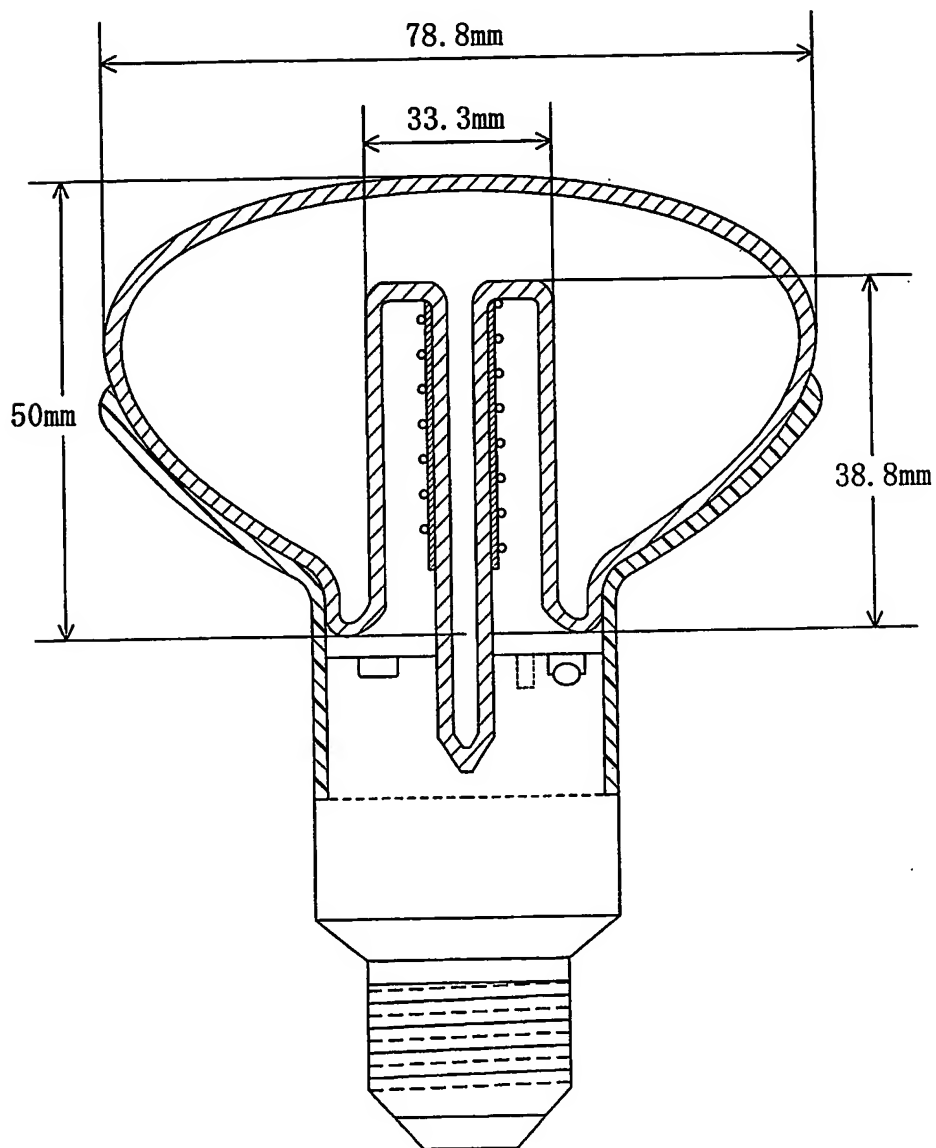
12/14

FIG. 12



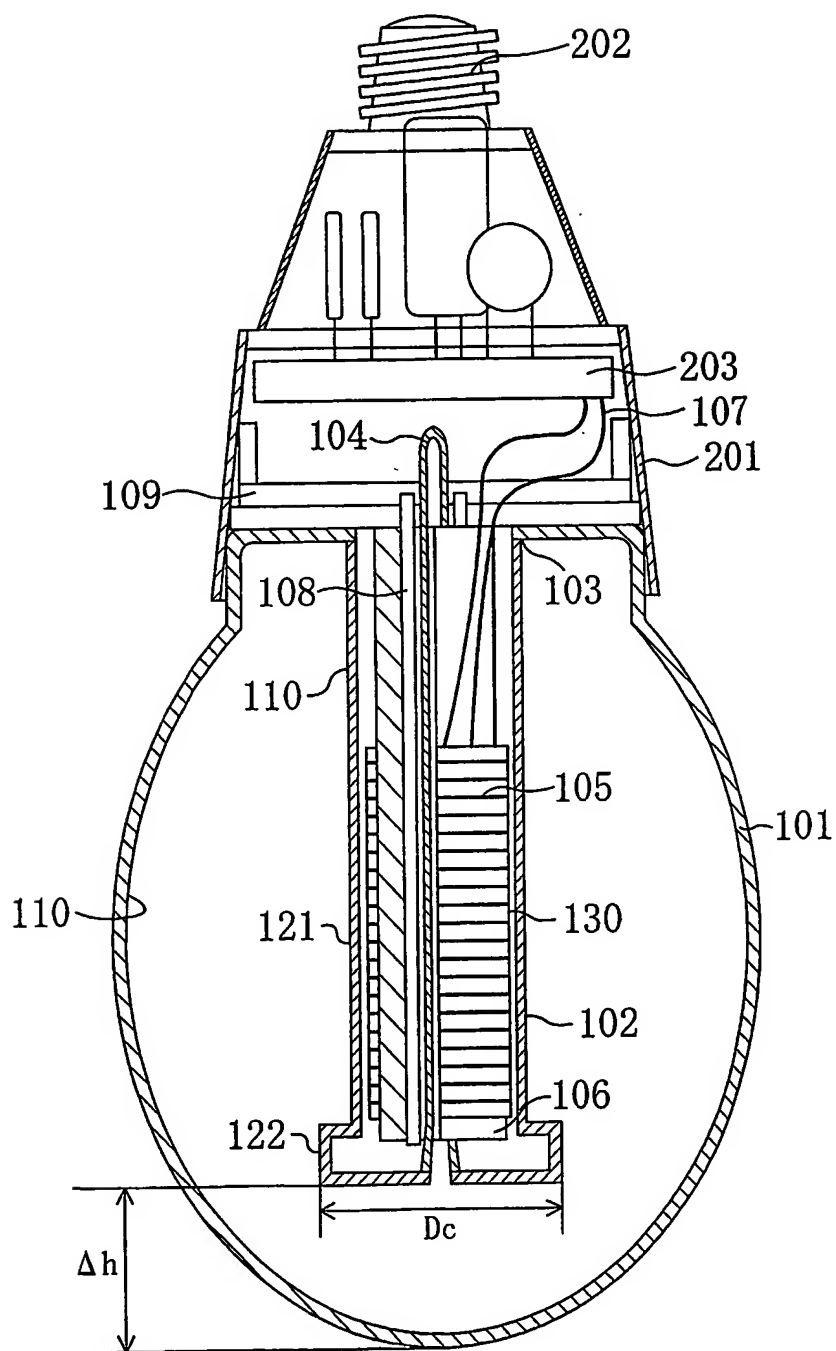
13/14

FIG. 13



14/14

FIG. 14



日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

PCT/JP03/08447

02.07.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application: 2002年 7月 2日

出願番号  
Application Number: 特願2002-192881  
[ST. 10/C]: [JP2002-192881]

REC'D 22 AUG 2003	
WIPO	PCT

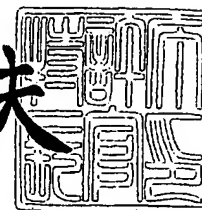
出願人  
Applicant(s): 松下電器産業株式会社

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2003年 8月 7日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3063190

【書類名】 特許願

【整理番号】 2015440016

【提出日】 平成14年 7月 2日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01J 65/04

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 橋本谷 磨志

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 ▲荒▼川 剛

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 保知 昌

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 片瀬 幸一

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 小俣 雄二

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 萩原 慶久

【特許出願人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100077931

【弁理士】

【氏名又は名称】 前田 弘

【選任した代理人】

【識別番号】 100094134

【弁理士】

【氏名又は名称】 小山 廣毅

【選任した代理人】

【識別番号】 100110939

【弁理士】

【氏名又は名称】 竹内 宏

【選任した代理人】

【識別番号】 100110940

【弁理士】

【氏名又は名称】 嶋田 高久

【選任した代理人】

【識別番号】 100113262

【弁理士】

【氏名又は名称】 竹内 祐二

【選任した代理人】

【識別番号】 100115059

【弁理士】

【氏名又は名称】 今江 克実

【選任した代理人】

【識別番号】 100115510

【弁理士】

【氏名又は名称】 手島 勝

【選任した代理人】

【識別番号】 100115691

【弁理士】

【氏名又は名称】 藤田 篤史

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014409

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0006010

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電球型無電極放電ランプおよび無電極放電ランプ点灯装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 水銀と希ガスとを含む放電ガスが封入された発光管と、  
前記発光管の近傍に設けられた誘導コイルと、  
前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路と、  
前記点灯回路に電氣的に接続された口金と  
を備え、  
前記発光管と前記誘導コイルと前記点灯回路と前記口金とは一体に構成されて  
おり、  
前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、  
前記発光管のうちの前記点灯回路側には、前記誘導コイルが挿入される凹入部  
が設けられており、  
前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有する略円筒形状を有し、且つ、前  
記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位は、前記放電ガスの対流を抑  
制する機能を有しており、  
前記発光管の最大直径は、60 mm以上80 mm以下であり、  
安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.08 \text{ W/cm}^2$ 以上 $0.1$   
 $1 \text{ W/cm}^2$ 以下であり、そして、  
前記発光管の前記最大直径(D)に対する、前記凹入部における前記開口部の  
端面を基準とした前記発光管の高さ(h)の比( $h/D$ )は、1.0以上1.3  
以下であり、  
前記凹入部の直径を $D_c$ とし、前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置  
する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部と  
の間隔を $\Delta h$ としたときに、  
$$\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 27.6 \text{ [mm]}$$
  
の関係を満たす、電球型無電極放電ランプ。

【請求項2】 前記直径 $D_c$ と前記間隔 $\Delta h$ とが、

$$\Delta h \geq 1.16 \times D_c - 17.4 \text{ [mm]}$$



の関係を満たす、請求項 1 に記載の電球型無電極放電ランプ。

【請求項 3】 前記発光管の前記最大直径は 65 mm 以上 75 mm 以下である、請求項 1 または 2 に記載の電球型無電極放電ランプ。

【請求項 4】 前記誘導コイルは、コアと、当該コアに巻き付けられた巻線とから構成されており、

前記コアにおける前記巻線が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部位は、前記発光管の前記最大直径が存在する平面よりも、前記点灯回路側の方へ 4 mm 以上 8 mm 以下の距離だけ離れた範囲内に位置している、請求項 1 から 3 の何れか一つに記載の電球型無電極放電ランプ。

【請求項 5】 水銀と希ガスとを含む放電ガスが封入された発光管と、前記発光管の近傍に設けられた誘導コイルと、前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路と、前記点灯回路に電氣的に接続された口金とを備え、前記発光管と前記誘導コイルと前記点灯回路と前記口金とは一体に構成されており、

前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、前記発光管のうちの前記点灯回路側には、前記誘導コイルが挿入される凹入部が設けられており、

前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有する略円筒形状を有し、且つ、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位は、前記放電ガスの対流を抑制する機能を有しており、

前記発光管の最大直径は、55 mm 以上 75 mm 以下であり、安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.05 \text{ W/cm}^2$  以上  $0.08 \text{ W/cm}^2$  未満であり、そして、

前記発光管の前記最大直径 (D) に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ (h) の比 ( $h/D$ ) は、1.0 以上 1.3 以下であり、

前記凹入部の直径を  $D_c$  とし、前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置

する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を  $\Delta h$  としたときに、

$$\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 22.4 \text{ [mm]}$$

の関係を満たす、電球型無電極放電ランプ。

【請求項 6】 前記直径  $D_c$  と前記間隔  $\Delta h$  とが、

$$\Delta h \geq 1.16 \times D_c - 17.4 \text{ [mm]}$$

の関係を満たす、請求項 5 に記載の電球型無電極放電ランプ。

【請求項 7】 前記発光管の前記最大直径は 60 mm 以上 70 mm 以下である、請求項 5 または 6 に記載の電球型無電極放電ランプ。

【請求項 8】 前記誘導コイルは、コアと、当該コアに巻き付けられた巻線とから構成されており、

前記コアにおける前記巻線が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部位は、前記発光管の前記最大直径が存在する平面上に実質的に存在している、請求項 5 から 7 の何れか一つに記載の電球型無電極放電ランプ。

【請求項 9】 前記水銀は、アマルガムの形態でなく、水銀元素の形態で前記発光管に封入されている、請求項 1 から 8 の何れか一つに記載の電球型無電極放電ランプ。

【請求項 10】 前記希ガスの封入圧力は、60 Pa 以上 300 Pa 以下である、請求項 1 から 9 の何れか一つに記載の電球型無電極放電ランプ。

【請求項 11】 前記発光管の内表面に蛍光体層が形成されている、請求項 1 から 10 の何れか一つに記載の電球型無電極放電ランプ。

【請求項 12】 水銀と希ガスとを含む放電ガスが封入され、凹入部を有する発光管と、

前記凹入部に挿入された誘導コイルと、

前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路と

を備え、

前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、

前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有する略円筒形状を有し、

前記発光管の最大直径は、60 mm 以上 80 mm 以下であり、

安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.08\text{ W/cm}^2$ 以上 $0.11\text{ W/cm}^2$ 以下であり、そして、

前記発光管の前記最大直径(D)に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ(h)の比( $h/D$ )は、 $1.0$ 以上 $1.3$ 以下であり、

前記凹入部の直径を $D_c$ とし、前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を $\Delta h$ としたときに、

$$\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 27.6 \text{ [mm]}$$

の関係を満たす、無電極放電ランプ点灯装置。

【請求項13】 水銀と希ガスを含む放電ガスが封入され、凹入部を有する発光管と、

前記凹入部に挿入された誘導コイルと、

前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路とを備え、

前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、

前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有する略円筒形状を有し、

前記発光管の最大直径は、

$55\text{ mm}$ 以上 $75\text{ mm}$ 以下であり、

安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.05\text{ W/cm}^2$ 以上 $0.08\text{ W/cm}^2$ 未満であり、そして、

前記発光管の前記最大直径(D)に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ(h)の比( $h/D$ )は、 $1.0$ 以上 $1.3$ 以下であり、

前記凹入部の直径を $D_c$ とし、前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を $\Delta h$ としたときに、

$$\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 22.4 \text{ [mm]}$$

の関係を満たす、無電極放電ランプ点灯装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、電球型無電極放電ランプおよび無電極放電ランプ点灯装置に関する

。

## 【0002】

## 【従来の技術】

近年、地球環境保護と経済性の観点から、白熱電球に比べて効率が約5倍高く、寿命も約6倍長い有電極の電球型蛍光ランプが、住宅やホテルなどにおいて白熱電球代替用として広く利用されてきている。さらに、最近、従来から存在する有電極の電球型蛍光ランプの他に、無電極の電球型蛍光ランプが普及し始めている。無電極蛍光ランプは、電極が無いことから寿命が有電極蛍光ランプに比べて更に2倍以上長いため、今後ますます普及していくことが期待される。

## 【0003】

従来白熱電球にはさまざまな形状のものが創案され、実用化されているが、もっとも広く使用されているのは洋ナシ型の形状を持つものである。これはJIS C 7710-1988において定義されたA型と呼ばれる形状であり、国際的にもIEC 60887-1988によって同様に定義されていて、この規格に従って米国や欧州などにおいても同様の規格が設けられている。白熱電球を点灯させる灯具もこのA型の白熱電球の使用を前提としたものが多い。そのため電球型蛍光ランプも、特にこうしたA型の白熱電球に近似した形状、大きさのものを提供することが実用上求められている。

## 【0004】

一般的に用いられる上記A型の白熱電球のサイズは、例えば入力100Wの白熱電球の場合で直径60mm、バルブ頂上から口金先端までの高さ110mm程度の大きさであり、白熱電球を代替するためには、電球型蛍光ランプのサイズは前述のサイズを著しく越えないことが重要である。

## 【0005】

白熱電球と異なり、上記蛍光ランプは放電によって励起された水銀が放出する

紫外線を、外管バルブ（発光管）に塗布された蛍光体で可視光に変換することで光源として機能する。この水銀が放出する紫外線のなかでも特に波長が253.7 nmの輝線が、蛍光体での可視光への変換効率も高い。すなわち、蛍光ランプの効率は、253.7 nmの紫外輝線の放射効率によって決定される。蛍光ランプでのこの効率は、ランプ内での水銀の原子の密度、言い換えると蒸気圧で決定され、約6 mTorr（約798 mPa）の時に最高効率となる。これは、水銀液滴の摂氏40℃前後での飽和蒸気圧に相当する。このため、効率の高い蛍光ランプを設計するためには、外管バルブの少なくとも最も温度が低くなる箇所（以下最冷点と呼ぶ）の温度を摂氏40℃近傍になるようにすることが望ましい。最冷点において過剰な水銀蒸気が液滴となるからである。

#### 【0006】

ところが一般に、白熱電球の代替を目的とした電球型蛍光ランプでは、直管蛍光ランプなどに比べると、ランプに投入される電力に対してランプのサイズが小さい。そのため動作時には発光管の温度が高くなり、摂氏40℃近傍にすることが原理的に困難である。つまり、直管蛍光ランプなどに比べ、電球型蛍光ランプは単位表面積当たりの電力が大きいので、ランプ表面からの放熱が十分に行われず、発光管の温度が高くなるのである。

#### 【0007】

従来このような課題に対する対策としては、例えば特開平11-31476号公報に開示されたような、アマルガムを使用する方法がある。これは、動作時に温度上昇によって最適値よりも過剰になった水銀蒸気をアマルガムに吸着させることによって、動作時の水銀蒸気圧を最適値付近にコントロールする方法で、水銀蒸気圧制御機能を有するBi-In系やBi-Pb-Sn系等のアマルガムが用いられる。

#### 【0008】

また、別の対策方法としては、特開2001-325920号公報に開示されたような、発光管の最も温度が低くなる部分に、発光管の外側に向かって隆起部を設けて局所的に放熱を高めることで、その部分の温度を摂氏40℃付近となるようにする方法がある。

## 【0009】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかし、アマルガムを使用する方法では、ランプの温度が低い消灯状態からランプを点灯した場合、アマルガムの温度が上昇して吸着された水銀が再度放出されるまでに時間がかかるため、点灯してからランプが十分な明るさを得るまでの明るさの立ち上がりに数分以上の時間がかかるという課題があった。

## 【0010】

また、明るさの立ち上がりを向上させるためにアマルガムを使用せずに水銀液滴を発光管に封入し、発光管外壁上に隆起部を設ける方法では、最冷点の温度を摂氏40℃付近にコントロールする効果はあるものの、隆起部分のガラスが強度的にどうしても弱くなり割れやすくなる。さらには白熱電球にはそのような隆起部が存在しないため、白熱電球を代替して使用する場合、審美的観点から好ましくない、という課題があった。

## 【0011】

本発明はかかる諸点を鑑みてなされたものであり、その主な目的は、従来とは異なるアプローチで最冷点の温度を好適な範囲に制御した電球型無電極放電ランプ及び無電極放電ランプ点灯装置を提供することにある。

## 【0012】

## 【課題を解決するための手段】

本発明による第一の電球型無電極放電ランプは、水銀と希ガスとを含む放電ガスが封入された発光管と、前記発光管の近傍に設けられた誘導コイルと、前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路と、前記点灯回路に電氣的に接続された口金とを備え、前記発光管と前記誘導コイルと前記点灯回路と前記口金とは一体に構成されており、前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、前記発光管のうちの前記点灯回路側には、前記誘導コイルが挿入される凹入部が設けられており、前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有する略円筒形状を有し、且つ、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位は、前記放電ガスの対流を抑制する機能を有しており、前記発光管の最大直径は、60 mm以上80 mm以下であり、安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、0

、 $0.8\text{ W/cm}^2$ 以上 $0.11\text{ W/cm}^2$ 以下であり、そして、前記発光管の前記最大直径(D)に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ(h)の比(h/D)は、1.0以上1.3以下であり、前記凹入部の直径をDcとし、前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を $\Delta h$ としたときに、 $\Delta h \leq 1.92 \times Dc - 27.6$  [mm] の関係を満たすものである。

#### 【0013】

ある実施形態において、前記直径Dcと、前記間隔 $\Delta h$ とが、 $\Delta h \geq 1.16 \times Dc - 17.4$  [mm] の関係を満たす。

#### 【0014】

前記発光管の前記最大直径は65mm以上75mm以下であることが好ましい。また、前記発光管の最冷点となる前記頂部又はその近傍に隆起部を設けないことが好ましい。

#### 【0015】

ある実施形態において、前記誘導コイルは、コアと、当該コアに巻き付けられた巻線とから構成されており、前記コアにおける前記巻線が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部位は、前記発光管の前記最大直径が存在する平面よりも、前記点灯回路側の方へ4mm以上8mm以下の距離だけ離れた範囲内に位置している。

#### 【0016】

本発明による第二の電球形無電極放電ランプは、水銀と希ガスを含む放電ガスが封入された発光管と、前記発光管の近傍に設けられた誘導コイルと、前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路と、前記点灯回路に電氣的に接続された口金とを備え、前記発光管と前記誘導コイルと前記点灯回路と前記口金とは一体に構成されており、前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、前記発光管のうちの前記点灯回路側には、前記誘導コイルが挿入される凹入部が設けられており、前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有する略円筒形状を有し、且つ、前記凹入部のうち前記開口部と反対側に位置する部位は、前

記放電ガスの対流を抑制する機能を有しており、前記発光管の最大直径は、55 mm以上75 mm以下であり、安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.05 \text{ W/cm}^2$ 以上 $0.08 \text{ W/cm}^2$ 未満であり、そして、前記発光管の前記最大直径(D)に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ(h)の比( $h/D$ )は、1.0以上1.3以下であり、前記凹入部の直径を $D_c$ とし、前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を $\Delta h$ としたときに、 $\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 22.4$  [mm] の関係を満たすものである。

【0017】

ある実施形態において、前記直径 $D_c$ と前記間隔 $\Delta h$ とが、 $\Delta h \geq 1.16 \times D_c - 17.4$  [mm] の関係を満たす。

【0018】

前記発光管の前記最大直径は60 mm以上70 mm以下であることが好ましい。

【0019】

ある実施形態において、前記誘導コイルは、コアと、当該コアに巻き付けられた巻線とが構成されており、前記コアにおける前記巻線が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部位は、前記発光管の前記最大直径が存在する平面上に実質的に存在している。

【0020】

ある実施形態において、前記水銀は、アマルガムの形態でなく、水銀元素の形態で前記発光管に封入されている。

【0021】

ある実施形態において、前記希ガスの封入圧力は、60 Pa以上300 Pa以下である。

【0022】

ある実施形態において、前記発光管の内表面に蛍光体層が形成されている。

【0023】



本発明による第一の無電極放電ランプ点灯装置は、水銀と希ガスを含む放電ガスが封入され、凹入部を有する発光管と、前記凹入部に挿入された誘導コイルと、前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路とを備え、前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有する略円筒形状を有し、前記発光管の最大直径は、60 mm以上80 mm以下であり、安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.08 \text{ W/cm}^2$ 以上 $0.11 \text{ W/cm}^2$ 以下であり、そして、前記発光管の前記最大直径（D）に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ（h）の比（ $h/D$ ）は、1.0以上1.3以下であり、前記凹入部の直径を $D_c$ とし、前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を $\Delta h$ としたときに、 $\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 27.6 \text{ [mm]}$ の関係を満たすものである。

#### 【0024】

本発明による第二の無電極放電ランプ点灯装置は、水銀と希ガスを含む放電ガスが封入され、凹入部を有する発光管と、前記凹入部に挿入された誘導コイルと、前記誘導コイルに高周波電力を供給する点灯回路とを備え、前記発光管は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、前記凹入部は、前記点灯回路側に開口部を有する略円筒形状を有し、前記発光管の最大直径は、55 mm以上75 mm以下であり、安定点灯時における前記発光管の管壁負荷は、 $0.05 \text{ W/cm}^2$ 以上 $0.08 \text{ W/cm}^2$ 未満であり、そして、前記発光管の前記最大直径（D）に対する、前記凹入部における前記開口部の端面を基準とした前記発光管の高さ（h）の比（ $h/D$ ）は、1.0以上1.3以下であり、前記凹入部の直径を $D_c$ とし、前記凹入部のうちの前記開口部と反対側に位置する前記凹入部の頂面と、前記凹入部の前記頂面と対向する前記発光管の頂部との間隔を $\Delta h$ としたときに、 $\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 22.4 \text{ [mm]}$ の関係を満たすものである。

#### 【0025】

#### 【発明の実施の形態】

本願発明者は数多くの実験を繰り返すことで、アマルガムを使用せずに、かつランプの外観に影響を与えることなく、最冷点の温度を好適な範囲に制御できるランプ内部の構造物の寸法の最適な範囲を見出した。

#### 【0026】

ここで、図2を参照しながら、安定点灯時の発光管の最冷点の温度がどのように決まるかを説明する。図2は無電極蛍光ランプが「ベース（高周波電源回路203及び口金202）を上にした」状態で点灯されている様子を表している（以降はベースアップ点灯と呼ぶ）。白熱電球は、通常はこのようなベースアップ点灯で使用される。図2において発光管101はJIS C 7710-1988において定義されたA型形状の白熱電球に近似した略回転楕円体形状であり、光透過性のガラス、例えばソーダライムガラスによって形成される。凹入部102は発光管101と同じ材質で形成された略円筒形状であり、その開口端103において発光管101と溶着されている。発光管101は、排気管104から一旦真空中に排気されたのち、放電ガスとして少量の液状水銀（図示せず）と希ガス、例えばKrが室温時に60Paから100Paの圧力で封入されている（図示せず）。なお、ここで水銀は最初に水銀蒸気圧制御機能を有しないZn-Hgにより発光管101内に入れられるが、Zn-Hgから高温により放出された水銀は再度Zn-Hgに吸着されることはなく、一旦使用をはじめた無電極蛍光ランプでは、水銀元素の形態として封入されている。つまり、Zn-Hgが水銀の供給源であっても実質的に水銀元素の形態として封入されていることになる。発光管101の内壁面には、ソーダライムガラスに含まれるナトリウムと水銀とが反応して黒化することを防ぐために、アルミナの保護膜（図示せず）が塗布され、その上から蛍光体膜（図示せず）が塗布されている。また、凹入部102の発光管101側の面には、アルミナよりなる可視光反射膜（図示せず）が塗布され、さらにその上に蛍光体膜（図示せず）が塗布されている。

#### 【0027】

凹入部102の内側には、Mn-Zn系の軟磁性フェライトからなる磁芯（コア）106上に、絶縁被覆された銅のより線（リッツワイヤ）からなる励起コイル（巻線）105が、ソレノイド状に巻回されている。励起コイル105の両端

線107は、電気絶縁性の樹脂部材によって構成されたハウジング201の内部に配設された高周波電源回路（点灯回路）203に接続されている。

#### 【0028】

通常の白熱電球用ソケットから直接給電できる口金202を介して供給された商用電源電力は、高周波電源回路203を通して周波数が約400kHzの高周波電流に変換されて励起コイル105に投入される。励起コイル105にこの高周波電流を与えることで、発光管101内部に誘導電場（図示せず）が生じる。この誘導電場の中で放電ガス中の電子が加速されて希ガスや水銀の原子と衝突し、励起と電離を繰り返すことで持続放電が生起し、図2に示すようにプラズマが発生する。

#### 【0029】

ここで高周波電源回路203が励起コイル105に印加する高周波電圧の周波数は約400kHzとしているが、実用的に一般的に使用されているISM帯の13.56MHzまたは数MHzに比べると、これは低い周波数である。この理由は、まず、13.56MHzまたは数MHzのような比較的高い周波数領域で動作させる場合、高周波電源回路203から発生するラインノイズを抑制するためのノイズフィルタが大型となり、高周波電源回路203の体積が大きくなってしまう。また、ランプから放射または伝播されるノイズが高周波ノイズの場合、高周波ノイズには非常に厳しい規制が法令にて設けられているため、その規制をクリアするには高価なシールドを設けて使用する必要があり、コストダウンを図る上で大きな障害となる。一方40kHz～1MHz程度の周波数領域で動作させる場合には、高周波電源回路203を構成する部材として、一般電子機器用の電子部品として使用されている安価な汎用品を使用することができるとともに、寸法の小さい部材を使用することが可能となるため、コストダウンおよび小型化を図ることができ、利点が大きいためである。ただし、本構成においては約400MHzに限らず、40kHz～1MHzの範囲での別の周波数領域や、13.56MHzまたは数MHzのような比較的高い周波数領域においても動作させることができる。

#### 【0030】

図2において、発光管101内部で最も温度が高くなるのは、一般に励起コイル105からの誘導電場のエネルギーが、放電ガス中でジュール加熱の形で消費されるプラズマ部分である。このプラズマ部分で発生した熱は、発光管101外表面から外気へと放出される。従って、発光管101の中でプラズマ部分から最も離れていて、かつ外気と接している部分、すなわち発光管101の頂部が最冷点となる。安定点灯時には、発生する熱量と、外気へと放出される熱量とがつりあうことによって、最冷点の温度が決定される。なお、安定点灯時というのは、点灯後十分な時間（通常は数分から数十分）が経過し、プラズマ部分や励起コイル105、高周波電源回路203からの発熱と外気による冷却とが平衡状態に達して発光管101の温度部分布が一定して、それによって定まる蒸気圧の水銀が発光に寄与する状態をいう。

#### 【0031】

次に、このような構成よりなる無電極蛍光ランプにおいて、最冷点温度がランプ効率にどのような影響を与えるかを説明する。図3は、図2に示すような無電極蛍光ランプを実際に試作し、周囲の環境温度を変化させて強制的に最冷点の温度を制御し、その時のランプの全光束を測定する実験をおこなった結果である。図3において横軸は最冷点の温度（℃）、縦軸は全光束（lm）である。また本実験で用いた無電極蛍光ランプは、図2に示す構造を有しており、発光管101の最大直径（D）は70mm、凹入部102の開口端103から測った発光管101の高さ（h）は80mmであり、発光管101内部には微量の水銀液滴と、Krガスを室温時に80Paとなるように封入した。発光管101の最大直径は、発光管101の回転対称軸に直交する平面内におけるもので、発光管101の外壁側におけるものである。凹入部102の直径（外径）は21mm、凹入部102の開口端103から測った凹入部102の頂上部までの高さは58mmであった。発光管101や凹入部102の厚みは約0.8mmと小さいので、各直径や高さは厚み分を誤差として無視をして内径部分等を直径や高さにしてもよいし、厳密に厚み分まで換算して各直径や高さの値を算出してもよい。また口金202を通して投入した電力は20Wであり、高周波電源回路203での損失を加味した発光管101への実際の投入電力は約18Wであった。このような条件で点

灯した場合の発光管101での単位表面積あたりの電力、すなわち安定点灯時の管壁負荷は約 $0.09\text{ W/cm}^2$ である。

#### 【0032】

図3から明らかなように、最冷点が $40^{\circ}\text{C}$ 付近において無電極蛍光ランプの発光効率は最高となり、最冷点温度が上昇するにつれて急激に低下する。この実験に用いたランプでは、常温すなわち環境温度 $25^{\circ}\text{C}$ における最冷点温度は $47.2^{\circ}\text{C}$ で、全光束は $13801\text{ lm}$ であり、最冷点温度 $40^{\circ}\text{C}$ での全光束最高値より6%以上低い値となった。もし最冷点の温度を少なくとも $45^{\circ}\text{C}$ 以下にすることができれば、全光束の低下を最高値の約3%以内に抑えることが可能である。このため、本願発明者は、最冷点温度が決定されるメカニズムに立ち返って、最冷点温度の抑制手段の検討を行った。

#### 【0033】

上記メカニズムを考える上で重要なのは、発光管101内での熱の移動がどのように行われるかということであるが、本実験で用いられた発光管101内の圧力は $80\text{ Pa}$ と小さいので、従来は発光管101内部の熱の移動は、熱伝導によるものがほとんどであると考えられてきた。即ち、液晶プロジェクター用の高圧水銀灯に代表される高輝度放電ランプとは異なり、蛍光ランプ内のような低圧放電プラズマでは放電ガスの圧力が数百分の1気圧と非常に低いために、蛍光ランプの発光管内での、熱の散逸機構としての対流は従来無視されてきたのである。ここで本願発明者は、今まで熱移動に寄与すると考えられることのなかった対流に着目した。

#### 【0034】

上記蛍光ランプの発光管101内の対流を考えてみると、まず発光管101内の放電ガスはプラズマ部分で加熱され、ハウジング201側へと上昇する。一方発光管101の管壁の、外気と接する領域では、外気への熱伝達によって放電ガスが冷却されるため、放電ガスはハウジング201側から発光管101頂部へと降下する。この結果、安定点灯中には発光管101内には図2中の矢印のような対流が存在すると考えられる。したがって、プラズマ部分で発生した熱は、放電ガスからの熱伝導のみでなく、この対流によっても移送されるので、こうしたプ

プラズマ部分からの熱の移送経路が最も長くなり、かつ外気と接している部分、すなわち発光管 101 の頂部がやはり最冷点となるわけである。安定点灯時には、この最冷点へ熱伝導と対流によって移送される熱量と、発光管 101 外表面から外気へと放出される熱量とがつりあうことによって、最冷点の温度が決定されることができると考えることができる。

#### 【0035】

なお、図 2 ではベースアップ点灯時について説明したが、逆向きに点灯した場合、つまりハウジング 201 が下になるように点灯された場合には、対流の向きが逆になるものの、やはり熱源であるプラズマ部分から遠くかつ外気と接触している発光管 101 の頂部がベースアップ点灯時と同様に最冷点となる。最冷点への熱の移送経路も同様である。

#### 【0036】

ここで本願発明者は、なんらかの方法で、発光管 101 中の最高温部分であるプラズマ部分から最冷点への対流を妨げてやることで、最冷点の温度を制御することが可能なのではないかと発想したのである。

#### 【0037】

上記発想を確認するため熱流体シミュレーション技術を使用して、安定点灯時の発光管 101 内での放電ガスの動きを計算した。その結果、図 2 の凹入部 102 頂上付近に模式的に表したごとく、凹入部 102 の頂上付近では放電ガスの流れが大きく乱されることがわかった。この結果から、凹入部 102 を最冷点に近づけることで、プラズマ部分から最冷点への対流による熱移送を妨げ、最冷点の温度上昇を抑制することができるのではないかとこの着想を得た。

#### 【0038】

そこで、発光管 101 の大きさを一定として、凹入部 102 の長さの異なる無電極蛍光ランプを多数試作し、最冷点温度と、凹入部 102 の頂上と発光管 101 の頂部の間隔  $\Delta h$  との相関を調べる実験を繰り返した。

#### 【0039】

図 4 にその結果を示す。図 4 において横軸は  $\Delta h$ 、縦軸は最冷点の温度を示している。2 本の線のうち、実線で示したのは凹入部 102 の直径が 21 mm の場

合であり、点線は凹入部 102 の直径が 25.4 mm の場合のデータである。図 4 から明らかなように、 $\Delta h$  が小さいほど、つまり凹入部 102 の頂上部と発光管 101 の頂部との間隔が狭いほど最冷点の温度が低下し、またその効果は凹入部 102 の直径が大きいほうが顕著であることがわかった。

#### 【0040】

なお、本実験において、凹入部 102 の直径を 21 mm と 25.4 mm との 2 種類とした理由を述べる。凹入部 102 は、その内側に励起コイル 105 および磁芯 106 を収容し、さらにその内側に排気管 104 が配置されるが、図 2 に示すような無電極蛍光ランプでは、ランプの始動時にはプラズマが存在しないため、放電を開始するために上記励起コイル 105 には安定点灯時の 10 倍以上の電流が流れる。このような大電流が励起コイル 105 に流れると、磁芯 106 の、励起コイル 105 の巻回面に平行な断面積が十分に大きくない場合には、磁芯 106 内で過大な励磁場による飽和という現象を起こすため磁芯として機能しなくなる。その結果発光管 101 内に十分な誘導電場を発生させることができずランプが点灯できなくなる。このため、おのずから凹入部 102 の直径には下限が生じる。また、逆に凹入部 102 の直径が大きすぎる場合には、点灯時にプラズマが存在する空間、すなわち凹入部 102 と発光管 101 の外壁との間隔が小さくなる。この結果、この部分でのプラズマの両極性拡散損失が増大し、安定放電を維持することが困難となる。これらの理由から、通常の白熱電球代替を目的とした無電極蛍光ランプのサイズと消費電力を勘案すると、実用的に使用可能な凹入部 102 の直径は 21 mm から 25.4 mm の範囲の中およびその近傍にあると考えられる。

#### 【0041】

図 4 から、最冷点温度が 45℃以下となる領域を  $D_c$  と  $\Delta h$  の関係として表現すると、図 6 の点線で示した関係より下側の領域となり、数式表現としては、

$$\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 27.6 \text{ [mm]}$$

を満たす関係であればよいという結論を得た。

#### 【0042】

なお、発光管 101 の全体的な温度は、概ね発光管 101 の単位面積あたりの

投入電力、つまり管壁負荷によって決まるため、白熱電球の代替を目的として無電極蛍光ランプを設計する際には管壁負荷が大きく、一般的にここで検討された課題を有している。また、このようなDcとΔhの関係としたので、最冷点、即ち発光管101の頂部又はその近傍に冷却のための隆起部を設けなくてもよく、従って、隆起部を設けることに起因する強度の低下及び審美的観点からの不都合も生じない。

#### 【0043】

ここまで説明したように、最冷点の温度を抑制するためには、Δhは小さく、Dcは大きくすればより大きな効果を得ることができる。しかしながら、より大きな効果を得るためにΔhをどんどん小さく、またDcを大きくしていった場合、今度は発光管101の頂部、最冷点の近傍に、凹入部102の輪郭の影ができるという新たな課題が生じる。これは最冷点近傍から見た場合、Δhが小さくなれば、またDcが大きくなれば、プラズマ部分から放射される紫外線が凹入部102の頂上部でさえぎられる割合が大きくなるために生じる効果である。

#### 【0044】

本願発明者はこの影響を最小限に止め得るΔhとDcとの関係をも調べるために、ΔhとDcとが異なる多くの無電極蛍光ランプを使用して、発光管101の側面の最も明るい部分と最冷点付近の影が生じる部分それぞれの輝度を測定して、影の強さとΔh、Dcとの関係を調べる実験も行った。発光管101の側面での輝度をS<sub>s</sub>、発光管101頂部の影になる部分の輝度をS<sub>t</sub>として、その明るさのコントラストを、

$$C = (S_s - S_t) / (S_s + S_t)$$

で定義して、Δhとコントラストとの関係を調べたのが図5である。図5において横軸はΔh、縦軸は上式で定義したコントラストであり、コントラストの値は大きいほど発光管101の側面と頂部とで明るさの差が激しい、すなわち影が目立つということを表している。実線で示したのはDcが21mmの場合の結果であり、点線で示したのはDcが25.4mmの場合の結果である。図5に示すように、Δhが小さいほど、またDcが大きいほど、コントラストの値が大きくなり、輪郭影の影響が顕著になることがわかった。



## 【0045】

ここで、コントラストがどの程度になると違和感を持つかという主観評価実験を行ったところ、コントラストの値が0.7程度になると、被験者8人中2人が違和感を感じたという結果を得た。

## 【0046】

このコントラスト値が0.7以下となる領域を、 $\Delta h$ と $Dc$ の関係として表現したものが、図6の実線の関係であり、この線よりも上の領域では、凹入部102の輪郭影の影響を最小限に抑え得るといえる。この領域を数式で表現すると、

$$\Delta h \geq 1.16 \times Dc - 17.4 \text{ [mm]}$$

との関係式を得る。以上から、 $\Delta h$ と $Dc$ を図6の点線と実線に囲まれた領域内の関係となるように設計すれば、外観上凹入部102の輪郭影の影響を最小限にしつつ、最冷点温度を45℃以下に抑制して好適なランプ効率を得ることができる。

## 【0047】

なお、この輪郭影の影響を抑えることがどこまで重要かは、このような無電極蛍光ランプの実使用時の使用形態にも依存する。例えば開口部に拡散板を備えたような器具内での使用であったり、また人間の視線より低い位置に設置されるような場合には、輪郭影の影響はさほど重要ではない。このため、凹入部102の輪郭影の影響を最小限にするための条件は、必ずしも必須のものではない。

## 【0048】

また、図12に示す米国特許第5291091号公報における無電極蛍光ランプや、図13に示す米国特許第5825130号公報における無電極蛍光ランプのような従来の公知の無電極蛍光ランプは、上記二つの式を満たす形状を有していない。

## 【0049】

次に、本願発明者は、発光効率をより高くするためにプラズマの発生位置に着目した。つまり、プラズマの発生する中心部がハウジング201に近すぎれば発光管101の管壁での両極性拡散が強くなり、プラズマを維持するために消費される電力が増加して効率が低下する。また逆に、プラズマの発生する中心部が最

冷点に近すぎると、凹入部102による対流抑制の効果が相殺されて最冷点の温度が上昇し、やはり効率が低下することになると考えたのである。プラズマの発生する中心部は、磁芯106における励起コイル105が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部にほぼ対応すると考えられ、この部分が発光管101の最大直径となる部分に一致すると、管壁での両極性拡散による損失が最も少なくなると推定した。

#### 【0050】

図11は、発光管101内部のガスの流れをコンピュータでシミュレーションし、発光管101縦断面のうち半分を示した図である。ガスの流れを矢印で示している。励起コイル105の巻き付け長手方向の中心部112と、発光管101の最大直径部分114との距離 $\Delta C$  [mm] は、最大直径部分114からベース側に向かう側を負としている。この図では $\Delta C = -8$  [mm] としている。図より明らかなように、ガスの流れは、凹入部102と発光管101との間であつてかつ発光管101の最大直径部分114に当たるところを中心とした渦を形成している。この流れは、凹入部102に沿ってハウジング201の方へ向かい、ハウジング201が発光管101と重なる辺りで凹入部102から発光管101内壁側に向かい、それから発光管101内壁に沿って発光管101頂部（最冷点）の方に向かっていく。そして凹入部102の頂上に対応する辺りで発光管101内壁から凹入部102の方に向かい、再び凹入部102に沿ってハウジング201側へと向かっていく。

#### 【0051】

ここで、図11では、 $D_c$ と $\Delta h$ の関係が

$$\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 27.6 \text{ [mm]}$$

を満たしているため、ガスの流れは、凹入部102の頂上部分と発光管101の頂部との間の領域116には入り込まないことがわかる。つまり、高温のガスの流れが最冷点にまで達しておらず、凹入部102による対流制御が功を奏しているがわかる。

#### 【0052】

上記シミュレーションはガスの流れに関するものであるが、それとは別に、最

も発光効率のよいプラズマ発生位置を上記推定に従って調べるため、励起コイル 105 の磁芯 106 への巻位置を種々変更して実験した。その結果、励起コイル 105 の巻き付け長手方向の中心部 112 及び発光管 101 の最大直径部分 114 の距離  $\Delta C$  とランプの全光束との関係を表したものが図 9 である。この図から明らかのように、 $\Delta C$  が  $-4 \sim -8$  mm であると実用上問題のない発光効率となり好ましく、 $\Delta C$  が  $-6$  mm のときに光束が最大になり発光効率が最もよくなるためさらに好ましい。ここで、上記推定と異なって、 $\Delta C = 0$  [mm] のときに光束が最大にならなかったのは、 $\Delta C$  が  $-6$  mm よりも大きくなって励起コイルの巻位置中心が最冷点の方に近づくと、高温のガスが最冷点に近づくことになるが、管壁負荷が大きいために、最冷点温度が上がってしまい効率が下がることが理由であると考えられる。つまり、従来考慮されることのなかった励起コイル 105 の磁芯 106 への巻位置および  $D_c$  と  $\Delta h$  の関係双方ともに考慮して、最適な効率となるように設定したので、励起コイル 105 の磁芯 106 への巻位置が発光管 101 の最大直径部分 114 からマイナス側へずれたのである。

#### 【0053】

これまで説明してきた無電極蛍光ランプは、100W の白熱電球に相当するいわゆる高ワットタイプと呼ばれるものであるが、60W の白熱電球に相当するいわゆる低ワットタイプと呼ばれるものは、サイズや管壁負荷が高ワットタイプのものと異なるため、 $D_c$  と  $\Delta h$  の関係を別途検討した。以下に、低ワットタイプの無電極蛍光ランプについて説明する。

#### 【0054】

低ワットタイプの無電極蛍光ランプも、形状は高ワットタイプのものとほぼ同じであり図 2 に示す形状である。発光管 101 の最大直径 ( $D$ ) は 65 mm、凹入部 102 の開口端 103 から測った発光管 101 の高さ ( $h$ ) は 72 mm であり、発光管 101 内部には微量の水銀液滴と、Kr ガスを室温において 80 Pa となるように封入した。凹入部 102 の直径 (プラズマ部分と接する外直径で表す) は 21 mm、凹入部 102 の開口端 103 から測った凹入部 102 の頂上部までの高さは 58 mm であった。また口金 202 を通して投入した電力は 12 W であり、高周波電源回路 203 での損失を加味した発光管 101 への実際の投入

電力は約 11 W であった。このような条件で点灯した場合の発光管 101 での単位表面積あたりの電力、すなわち安定点灯時の管壁負荷は約  $0.06 \text{ W/cm}^2$  である。

#### 【0055】

高ワットタイプと同様にして、低ワットタイプでも最冷点温度および発光管 101 頂部での凹入部 102 の輪郭影の影響と、 $\Delta h$  および  $D_c$  の関係とを調べる実験を行った。その結果得られた好適な  $\Delta h$  と  $D_c$  の範囲は図 7 の 2 本の直線には含まれた領域である。図 7 の詳細な説明は図 6 と同様であるので省略する。この図から得られる好適な  $\Delta h$  と  $D_c$  の関係の数式表現は、

$$\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 22.4 \text{ [mm]}$$

および、

$$\Delta h \geq 1.16 \times D_c - 17.4 \text{ [mm]}$$

である。

#### 【0056】

また、励起コイル 105 の磁芯 106 への巻位置を種々変更して実験した結果、励起コイル 105 の巻き付け長手方向の中心部 112 及び発光管 101 の最大直径部分 114 の距離  $\Delta C$  とランプの全光束との関係を表したものが図 10 である。この図から明らかなように、 $\Delta C$  がほぼ 0 mm であると光束が最大になり発光効率が最もよくなるため好ましい。なお、低ワットタイプでは高ワットタイプと異なり管壁負荷が小さいので、上記の推定の通り  $\Delta C = 0 \text{ [mm]}$  のときに光束が最大になった。

#### 【0057】

以下、消費電力 100 W の白熱電球相当の無電極蛍光ランプおよび消費電力 60 W 相当の無電極蛍光ランプの構成についてより詳細に説明する。なお、本発明は、これらの例に限定されない。

#### 【0058】

<100 W 用白熱電球相当の無電極蛍光ランプ>

図 1 は上記の検討結果を採用した、本発明にかかる無電極蛍光ランプの、一つの好適な実施の形態の例を示している。図 2 において説明した構成と同じ構成要

素には同じ図番を付し、説明を省略する。

### 【0059】

図1において、発光管101と励起コイル（巻線）105及び磁芯（コア）106からなる誘導コイルと高周波電源回路（点灯回路）203と口金202とは一体に構成されており、発光管101は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、発光管101のうちの高周波電源回路203側には、誘導コイルが挿入される凹入部102が設けられており、この凹入部102は、高周波電源回路203側に開口部を有する略円筒形状を有し、且つ、凹入部102のうちの開口部と反対側に位置する部位（頂上部分）は、放電ガスの対流を抑制する機能を有している。また、磁芯106内には金属、好ましくは熱伝導率の高い銅またはアルミニウム製の放熱チューブ108が配設され、放熱チューブ108は同じく銅またはアルミニウム製の放熱部材109に接続されている。これらによって、点灯中の磁芯106および励起コイル105の温度を低く保つ。通常の白熱電球用ソケットに直接接続できる口金202によって供給された商用電源電力は、高周波電源回路203によって周波数400kHzの高周波電流に変換され、励起コイル105の両端線107から励起コイル105へと投入される。また、放熱部材109に発生する渦電流を低減させる目的で、放熱部材109と磁芯106の図での最上部との間には空間が設けられている。口金202を通じてランプ全体で消費される電力は20Wであり、これは消費電力100Wの白熱電球代替用の電球型蛍光灯ランプとして好適なものである。このときの、高周波電源回路203における損失を考慮した、発光管101での管壁負荷の値は約 $0.085\text{ W/cm}^2$ となった。

### 【0060】

この例において、発光管101の最大直径（D）は70mm、凹入部102の開口端103から測った発光管101の高さ（h）は80mm、凹入部102の直径Dcは23mm、 $\Delta h$ は15mmであり、この構成は先に説明した図6の2本の直線の間の領域にある。すなわち、

$$\Delta h \leq 1.92 \times Dc - 27.6 \text{ [mm]}$$

および

$$\Delta h \geq 1.16 \times D_c - 17.4 \text{ [mm]}$$

の関係を満足しており、凹入部 102 の輪郭影の影響を最大限に抑えつつ、最冷点温度を 45℃以下に抑制することが可能となっている。また、磁芯 106 における励起コイル 105 が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部と発光管 101 の最大直径部分との距離  $\Delta C$  が  $-6 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ 、より好ましくは  $-6 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  であり、最冷点温度制御とプラズマの抵抗とのバランスをとって発光効率を大きくしている。

#### 【0061】

この例では、100W 相当の白熱電球に近似した形状及びサイズのまま、凹入部 102 の直径  $D_c$  及び凹入部 102 の頂面とそれに対向する発光管 101 の頂部との間隔  $\Delta h$  を一定の関係とすることにより、無電極蛍光ランプの最冷点温度を制御することができ、アマルガムを用いなくても発光効率を高めることができる。また、励起コイル 105 の巻き付け長手方向の中心部を発光管 101 の最大直径部分から一定の距離範囲内にしているので、発光効率を高くすることができる。つまり、白熱電球代替を目的とした本発明の実施形態の電球型無電極放電ランプでは、凹入部の直径及び凹入部頂上と発光管頂部との距離を一定の関係とすることで、白熱電球に近似した外観、サイズを損なうことなく、最冷点の温度を制御することが可能となる。これによって、アマルガムを使用する必要がなくなり、明るさの立ち上がりとランプ効率を両立した電球型の無電極放電ランプとすることができる。

#### 【0062】

##### <60W 用白熱電球相当の無電極蛍光ランプ>

図 8 は本発明にかかる好適なもう一つの実施の形態の例を示している。図 8 では、発光管 101 と励起コイル（巻線）105 及び磁芯（コア）106 からなる誘導コイルと高周波電源回路（点灯回路）203 と口金 202 とは一体に構成されており、発光管 101 は、略球形状あるいは略回転楕円形状を有しており、発光管 101 のうちの高周波電源回路 203 側には、誘導コイルが挿入される凹入部 102 が設けられており、この凹入部 102 は、高周波電源回路 203 側に開口部を有する略円筒形状を有し、且つ、凹入部 102 のうち開口部と反対側に位

置する部位（頂上部分）は、放電ガスの対流を抑制する機能を有していて、消費電力60Wの白熱電球に相当する電球型蛍光灯ランプとして好適な構成となるような実施の形態の例である。この例では、より消費電力の小さいランプに好適なように、発光管101の最大直径（D）を65mmとし、また凹入部102の開口端103から測った発光管101の高さ（h）も72mmとしてランプの小型化を図っている。また口金202を通してランプ全体に供給される消費電力は11Wとしている。この場合の高周波電源回路203における損失を考慮した発光管101の管壁負荷は約 $0.06\text{ W/cm}^2$ となった。また、消費電力が小さくなったことから、金属製の放熱チューブ108および放熱部材109は使用していない。しかしながら、小型の灯具内での使用など、使用条件によって温度が上昇する可能性がある場合には、これらの部材を使用することももちろん可能である。

#### 【0063】

本実施の形態において、凹入部102の直径 $D_c$ は21mm、 $\Delta h$ は12mmであり、この構成は図7の2本の直線の間の領域にある。即ち、

$$\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 22.4 \text{ [mm]}$$

および、

$$\Delta h \geq 1.16 \times D_c - 17.4 \text{ [mm]}$$

の関係を満足しており、凹入部102の輪郭影の影響を最大限に抑えつつ、最冷点温度を45℃以下に抑制することが可能となっている。また、磁芯106における励起コイル105が巻き付けられている部分の、長手方向についての中心部と発光管101の最大直径部分との距離 $\Delta C$ が $0\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ 、より好ましくは $0\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ である。つまり、100W用に比べて管壁負荷が小さいため、プラズマの抵抗が最小となる $\Delta C = 0\text{ mm}$ において最冷点温度も好適に制御できて、発光効率を大きくしている。

#### 【0064】

なお、ここまで述べた例では、発光管101の内面には蛍光体膜を塗布した場合（図示はしていない）を記述しているが、蛍光体膜を塗布せず、また発光管101を紫外線を透過する材質、例えば適切な純度の熔融石英やフッ化マグネシ

ウムを使用して、水銀からの紫外線を直接利用するような無電極ランプとしても、最冷点温度を抑制することで紫外線の強度を最適化することが可能である。

#### 【0065】

本例では、60W相当の白熱電球に近似した形状及びサイズのまま、凹入部102の直径Dc及び凹入部102の頂面とそれに対向する発光管101の頂部との間隔Δhを一定の関係とすることにより、実施の形態1と同様に無電極蛍光ランプの最冷点温度を制御することができ、アマルガムを用いなくても発光効率を高めることができる。また、励起コイル105の巻き付け長手方向の中心部を発光管101の最大直径部分と実質的に一致しているので、発光効率を高くすることができる。即ち、60W相当の白熱電球代替を目的とした本実施の形態の電球形無電極放電ランプでは、凹入部の直径及び凹入部頂上と発光管頂部との距離を一定の関係とすることで、白熱電球に近似した外観、サイズを損なうことなく、最冷点の温度を制御することが可能となる。これによって、アマルガムを使用する必要がなくなり、明るさの立ち上がりとランプ効率を両立した電球型の無電極放電ランプとすることができる。

#### 【0066】

また、ここまでの実施の形態の例では、ランプ本体と高周波電源回路203が一体となっている場合を述べてきたが、高周波電源回路203を別体としてランプ本体から離して設置するような形態も同様に実施可能である。

#### 【0067】

さらに、凹入部102の頂上部分にもアルミナなどによりなる可視光反射膜や蛍光体膜、またはその両方を塗布することで、発光管101頂部の凹入部102の輪郭影の影響を軽減することが可能である。

#### 【0068】

また、図1や図8では、凹入部102の頂上は角が四角い形状を記載しているが、必ずしも鋭利な角を持つ必要はない。角が丸い、或いは傾斜した頂上部とすることも可能である。

#### 【0069】

さらに、これまでの実施の形態の例では凹入部102の内部に励起コイル10



5を挿入する形態を説明してきたが、駆動周波数を更に高い、例えば13.56 MHzを使用し、励起コイル105を発光管101の外側に巻回するような構成においても、凹入部102の最冷点温度に対して与える影響は同様であり、同様の効果を得ることが出来る。また、励起コイル105を凹入部102内に挿入する形態でも、駆動周波数が高い、例えば13.56 MHzを使用する場合には、磁芯106は必ずしも必要ではない。また、励起コイル105で生じた高周波磁場が金属製の放熱部材109内で渦電流損失を生じるのを抑制するため、電気伝導性の低い磁性体、好ましくはMn-Zn系またはNi-Zn系の軟磁性フェライトよりなる円板を放熱部材109と発光管101の図での最上部との間に配置してもよい。

#### 【0070】

##### 【発明の効果】

以上のように本発明によれば、従来とは異なるアプローチで最冷点の温度を好適な範囲に制御した電球型無電極放電ランプ及び無電極放電ランプ点灯装置を提供できる。

##### 【図面の簡単な説明】

#### 【図1】

本発明の好適な一実施の形態による無電極蛍光ランプの模式図である。

#### 【図2】

無電極放電ランプの内部での放電ガスの対流の様子を示す模式図である。

#### 【図3】

無電極放電ランプの最冷点温度と全光束との関係をしめすグラフである。

#### 【図4】

無電極放電ランプにおける $\Delta h$ と最冷点温度の関係を示すグラフである。

#### 【図5】

無電極放電ランプにおける、 $\Delta h$ と凹入部の輪郭影のコントラストとの関係を示すグラフである。

#### 【図6】

本発明による $\Delta h$ とDcの、高ワットタイプの無電極放電ランプの好適な範囲

を示すグラフである。

【図 7】

本発明による $\Delta h$ と $D_c$ の、低ワットタイプの無電極放電ランプの好適な範囲を示すグラフである。

【図 8】

本発明による好適な実施の形態の一つを表す無電極蛍光ランプの模式図である。

【図 9】

高ワットタイプの無電極放電ランプにおける励起コイル巻き付け中心位置と発光管最大直径位置との差 $\Delta C$ と光束との関係を示すグラフである。

【図 10】

低ワットタイプの無電極放電ランプにおける励起コイル巻き付け中心位置と発光管最大直径位置との差 $\Delta C$ と光束との関係を示すグラフである。

【図 11】

コンピューターシミュレーションによる発光管内のガスの流れを示す模式図である。

【図 12】

公知の無電極蛍光ランプの一例を示す図である。

【図 13】

公知の無電極蛍光ランプの他の例を示す図である。

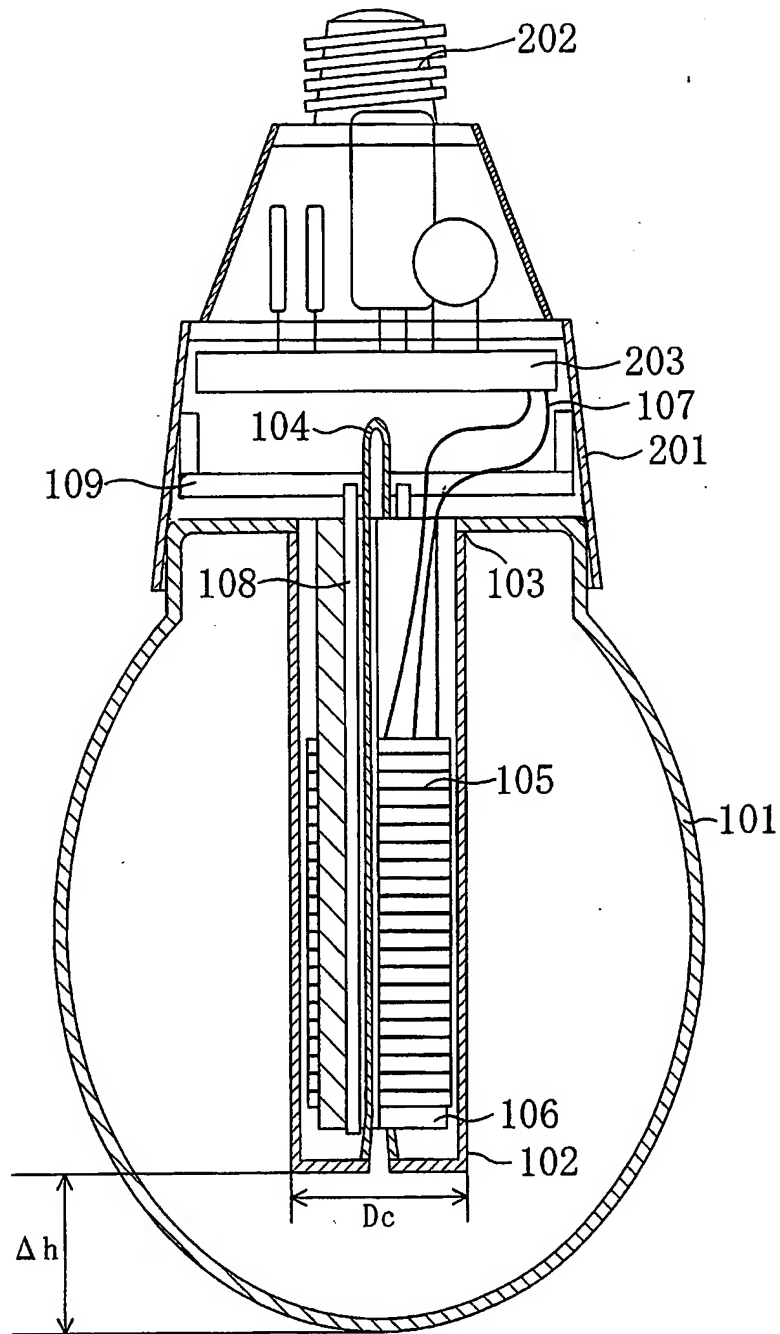
【符号の説明】

101	発光管
102	凹入部
103	凹入部の開口端
104	排気管
105	励起コイル（巻線）
106	磁芯（コア）
202	口金
203	高周波電源回路（点灯回路）

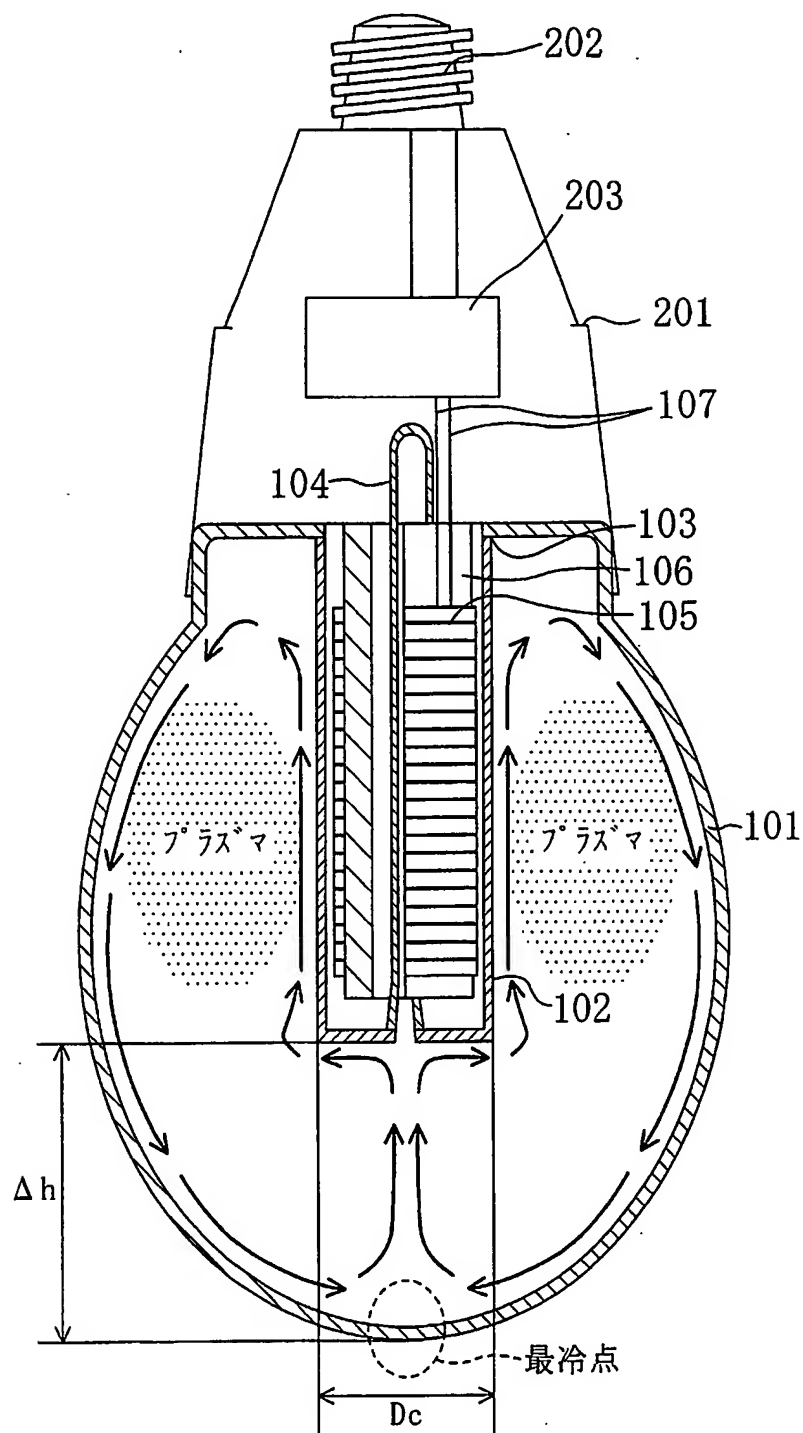
【書類名】

図面

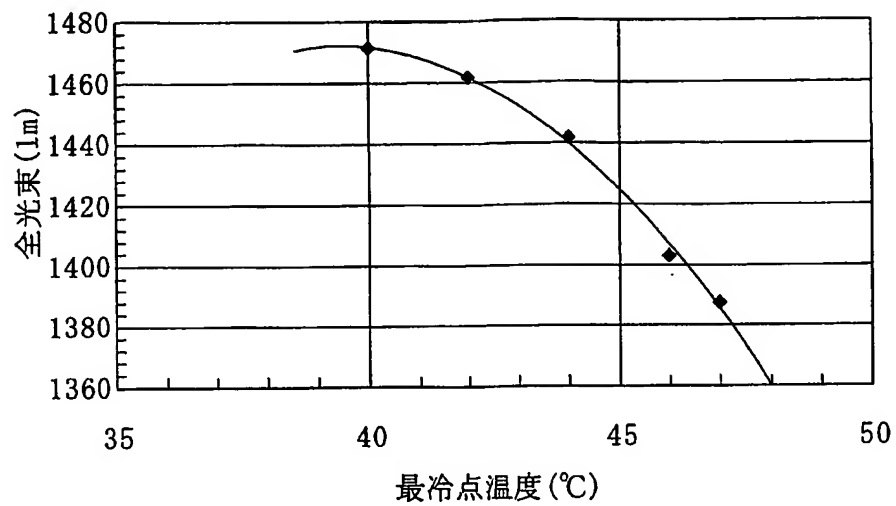
【図 1】



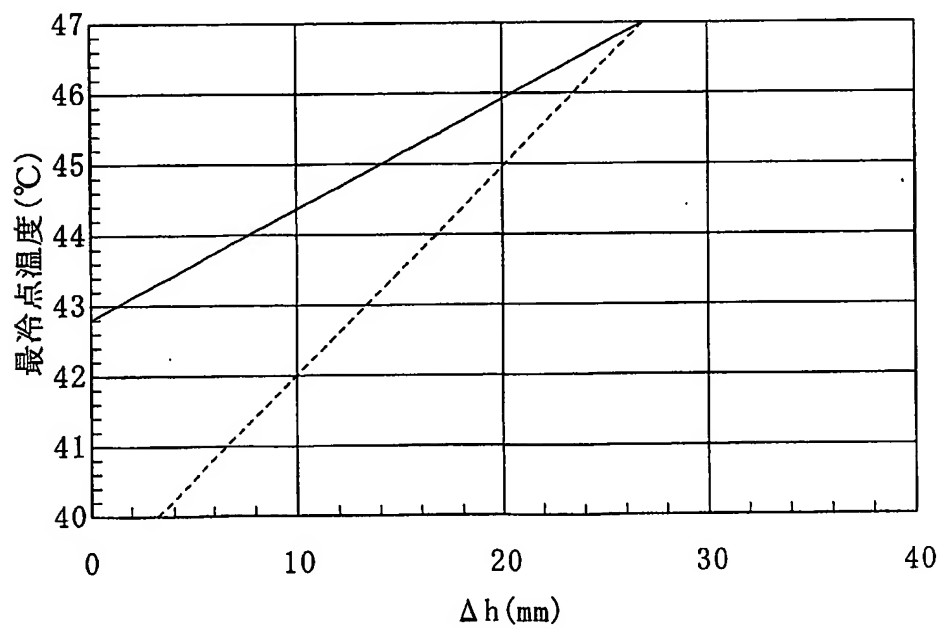
【図2】



【図3】

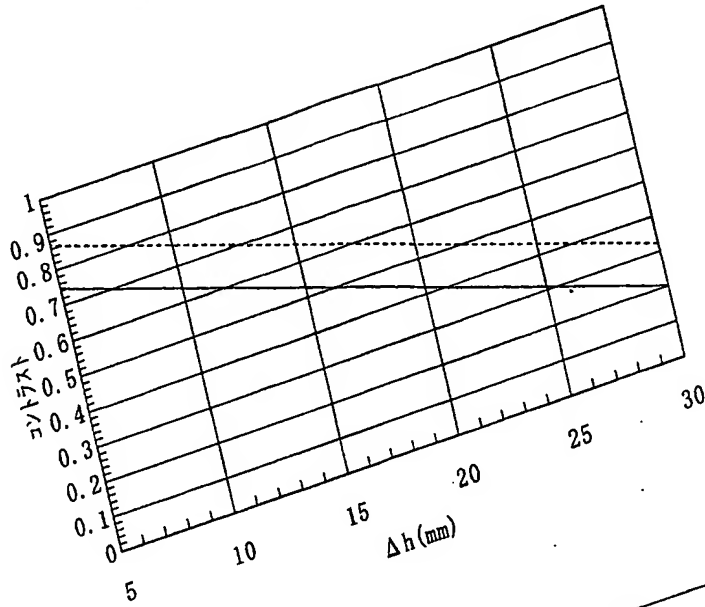


【図4】

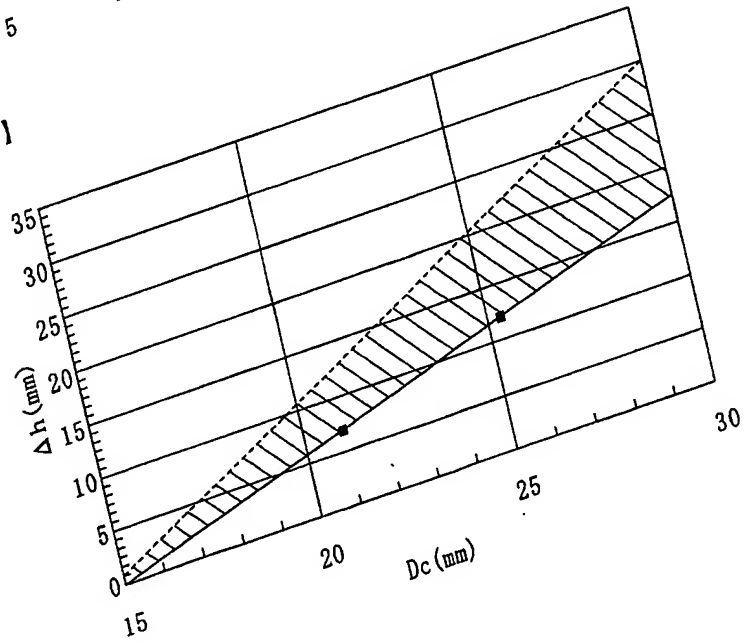


特願2002-192881

【図5】

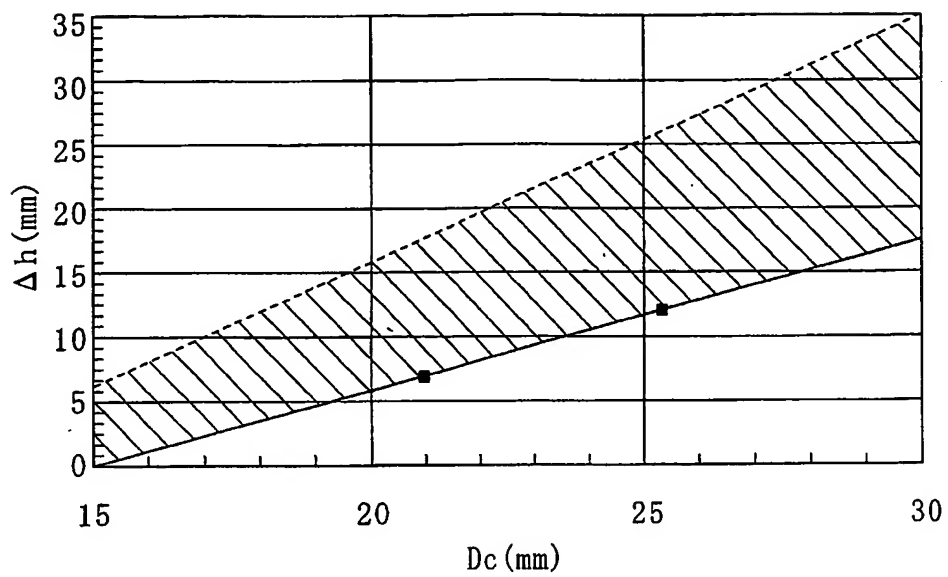


【図6】

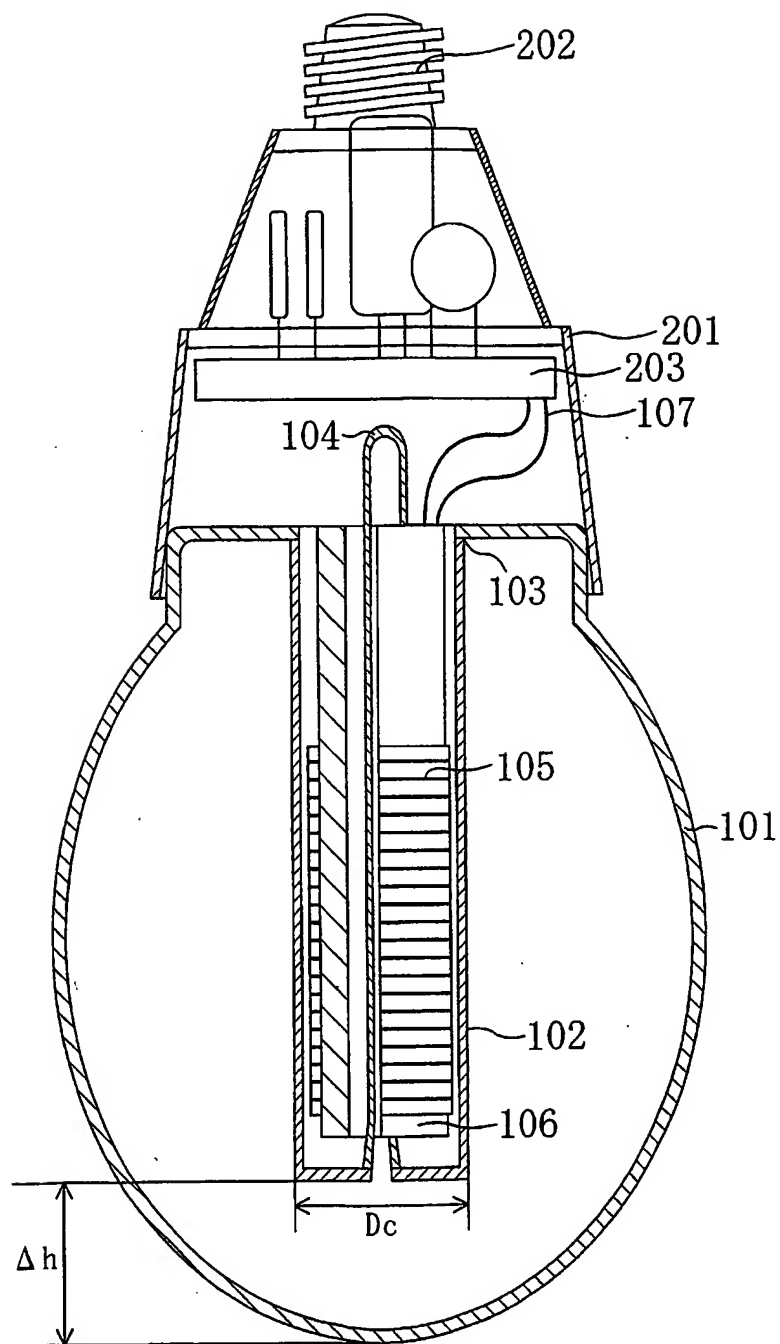


出証特2003-3063190

【図7】

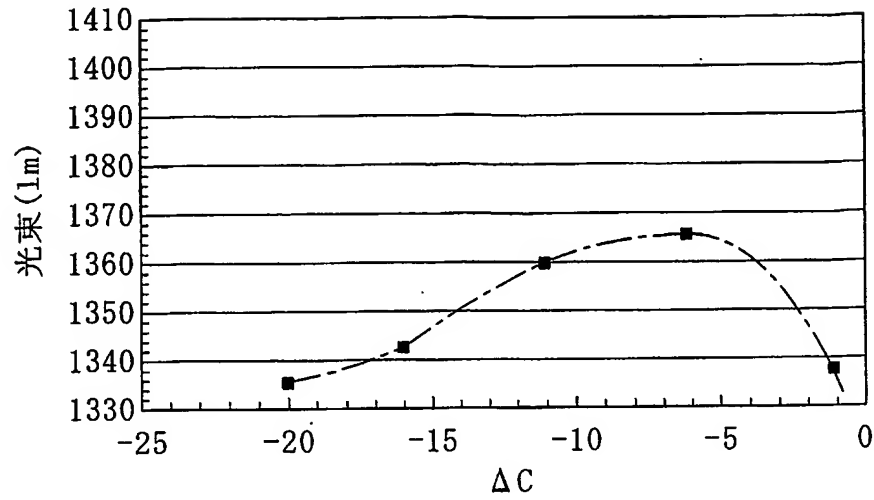


【図8】

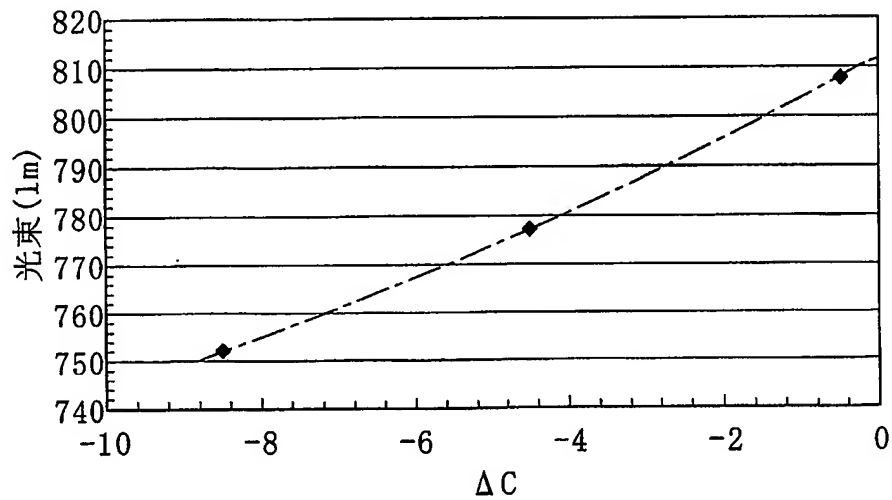




【図9】

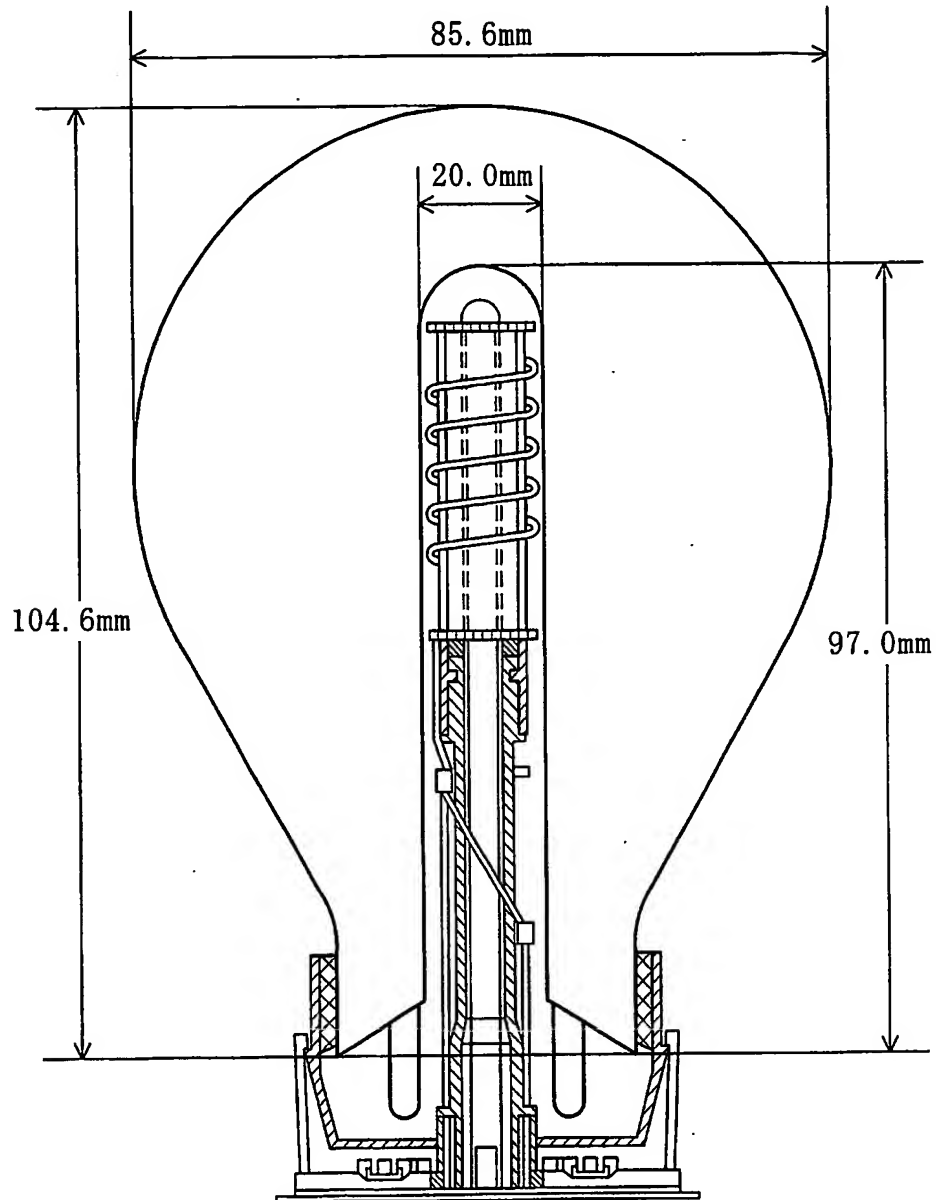


【図10】

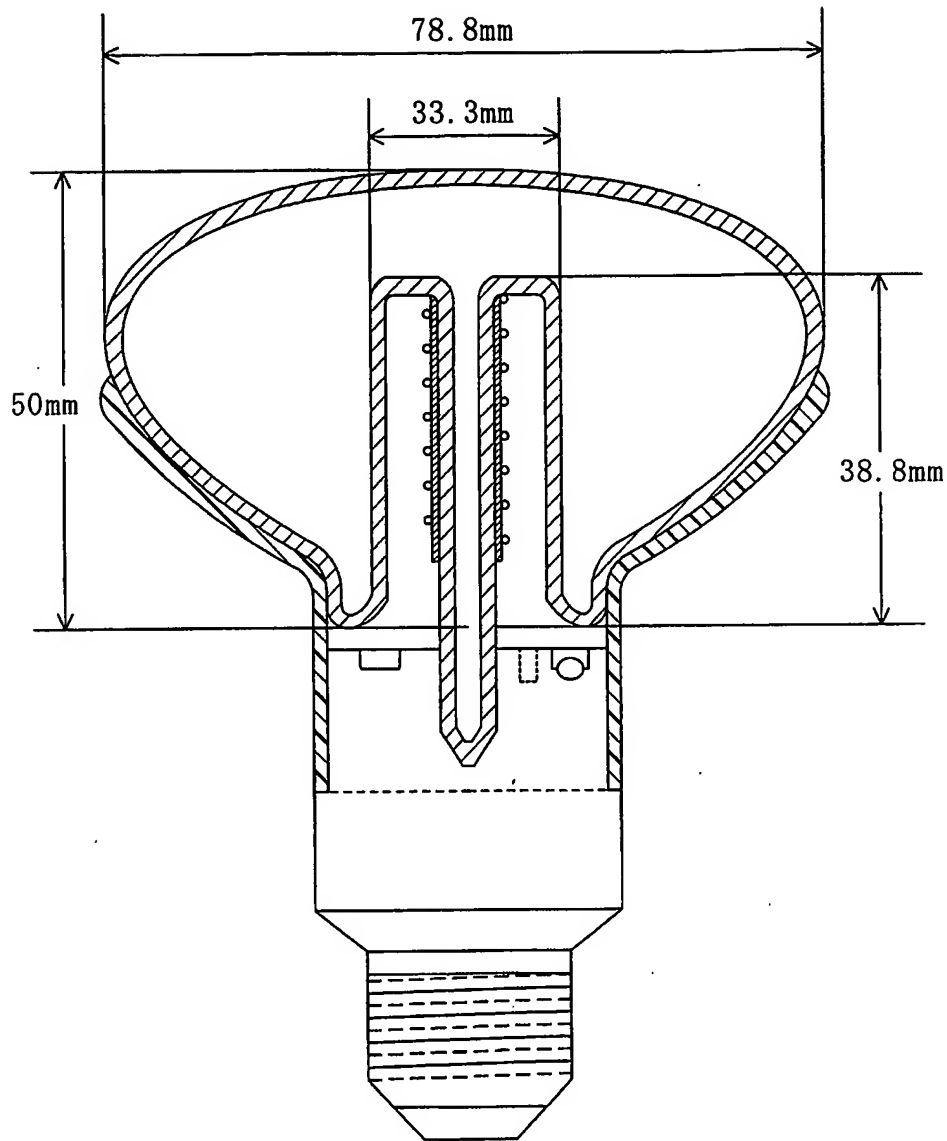




【図12】



【図13】



## 【書類名】 要約書

## 【要約】

【課題】 A型の白熱電球の代替となる、従来とは異なるアプローチで最冷点の温度を好適な範囲に制御した電球形無電極放電ランプを提供する。

【解決手段】 発光管 101 の最大直径が 60 mm 以上かつ 80 mm 以下で発光管 101 の管壁負荷が  $0.08 \text{ W/cm}^2$  以上  $0.11 \text{ W/cm}^2$  以下であり、凹入部 102 を備えた電球形無電極放電ランプにおいて、凹入部 102 の直径  $D_c$  と、凹入部 102 頂上と発光管 101 頂部の間隔  $\Delta h$  との関係を、
$$\Delta h \leq 1.92 \times D_c - 27.6 \text{ [mm]}$$
を満たすような構成とする。

【選択図】 図 1

特願2002-192881

出願人履歴情報

識別番号

[000005821]

1. 変更年月日	1990年 8月28日
[変更理由]	新規登録
住所	大阪府門真市大字門真1006番地
氏名	松下電器産業株式会社